



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MATERIAALIHUKAN PIENENTÄMINEN CLT- ELEMENTTIEN VALMISTUKSESSA

TEKIJÄ/T: Jari Tervo

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Puutekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Jari Tervo			
Työn nimi Materiaalihukan pienentäminen CLT-elementtien valmistuksessa			
Päiväys	10.3.2015	Sivumäärä/Liitteet	45/2
Ohjaaja(t) Risto Pitkänen, pt. tuntiohjaaja ja Mauno Multamäki, projekti-insinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lappia Ammattiopisto			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä CLT-tuotantoon ja tarkastella elementin työstövaiheessa muodostuvien aukkopalojen aiheuttamaa hukkaa. Opinnäytetyön aihe saatiin Lappia ammattiopiston kiintopuurakenteiden oppimis- ja osaamisympäristö -hankkeelta, jonka tavoitteena on CLT-rakenteiden suunnittelu- ja tuotantoprosessien sekä itse puurakenteiden kehittäminen yhteistyössä alueen yritysten kanssa. Työ on tehty Savonia-ammattikorkeakoulussa kevään 2015 aikana.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla CLT:n historiaan, käyttöön ja erilaisiin tuotantoprosesseihin. Jatkuvasti kehittyvän tekniikan vuoksi tietoa hankittiin laitevalmistajien uusista innovaatioista ja mahdollisuudesta soveltaa eri valmistustekniikoita hukan pienentämiseen. Aineiston avulla pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja ja lopuksi tehtiin CLT-elementin valmistustestejä tutkimusta mukaillen.</p> <p>Hankitun tiedon perusteella oli osoitettavissa, että CLT:n valmistusprosessia on mahdollista muuttaa ja poistaa työstämisestä muodostuvat aukkopalat suurimmaksi osaksi. Työssä esille tulevat ideat eivät välttämättä ole sellaisenaan toteutettavissa, eivätkä ole ehdottomia näkemyksiä siitä miten tuotetta tulisi valmistaa. Tulokset antavat pikemminkin miettimisen aihetta perinteisen CLT-tuotannon kehittämiseen, kun ajatellaan uuden tuotantolinjan perustamista tai jo olemassa olevan CLT-tuotannon muuttamista.</p>			
Avainsanat CLT, hukka			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Wood Technology			
Author(s) Jari Tervo			
Title of Thesis Decreasing of the material loss in the production of CLT-elements			
Date	10 March 2015	Pages/Appendices	45/2
Supervisor(s) Mr. Risto Pitkänen, Lecturer, and Mr. Mauno Multamäki, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Lappia Ammattiopisto			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to study the manufacturing of CLT and examine how the material loss in production caused by hole making could be decreased. The aim of this project was to find out how the material loss could be minimized without decreasing the value of the product. The project was commissioned by the Vocational College Lappia and it was part of the project to studying and knowledge environment of wooden structures. The aim of Lappia was to co-operate with local companies by developing the planning- and manufacturing processes of CLT manufacturing. It was also important for them to boost the business by new innovations and products. This thesis has made in Savonia UAS in spring 2015.</p> <p>First, the manufacturing history, the use and different manufacturing processes of CLT were studied by using literature and the Internet. Then, all the existing results of minimizing the material loss were studied. Because of the constant development of the CLT manufacturing there was also a need to acquire the latest information, which can decrease the material loss on the CLT production lines. After that, all information the gathered was carefully studied again to find out the new possibilities to decrease the material loss more efficiently. Finally, a few experiments were made according to the literature research.</p> <p>From the results obtained it can be seen that the CLT manufacturing process can be developed so that it will produce less or almost no material loss during the manufacturing process. The Results of this project may not be feasible as such. They are only showing how the production lines could be developed and that is why the ideas and results obtained are more worth pondering when thinking about starting a new production line or developing already existing lines of the CLT production.</p>			
Keywords CLT, loss			

ESIPUHE

Haluan kiittää Lappia Ammattiopistoa saamastani opinnäytetyöaiheesta ja minua opinnäytetyön aikana ohjanneita päätoimista tuntiopettajaa Risto Pitkästä, sekä projekti-insinööri Mauno Multamäkeä asiantuntevasta opastuksesta. Lisäksi haluan lämpimästi kiittää kaikkia opinnäytetyön valmistumiseen myötävaikuttaneita henkilöitä tuesta ja kannustamisesta.

Kuopiossa 13.4.2015

Jari Tervo

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta ja tavoitteet	6
1.2	Aikaisempi tutkimus ja lähteet	7
1.3	Lappia Ammattiopisto	7
1.4	Koetalohanke.....	8
2	CLT	9
2.1	CLT:n historia	9
2.2	Rakenne.....	9
2.3	Ominaisuudet	11
2.3.1	Lujuus- ja kosteustekniset ominaisuudet.....	12
2.3.2	Lämpötekniset ominaisuudet.....	12
2.3.3	Äänitekniset ominaisuudet	13
2.3.4	Palotekniset ominaisuudet.....	13
2.4	Käyttökohteet	13
3	CLT-ELEMENTTIEN VALMISTUS.....	15
3.1	Raaka-aineen valinta	15
3.2	Lamellien työstö.....	15
3.3	Liimoitus ja puristus.....	15
3.4	Puristuslaitteisto.....	16
3.5	Laadunvalvonta ja -testaus.....	18
3.6	Elementin valmistus.....	19
3.6.1	Työstölaitteisto ja työstöt.....	20
3.6.2	Elementin laadunvalvonta	21
4	HUKKA	22
4.1	Hukkatyypit.....	22
4.2	Hukka CLT-tuotannossa	22
4.2.1	Kustannusten muodostuminen ja tuottavuus.....	23
4.2.2	Hukan määrä	23
5	VALMISTUSTESTI.....	25
5.1	Toteutus	25
5.2	Tulokset ja arviointi	27

5.3	Materiaalipanoksen muutos	29
5.4	Työpanoksen muutos.....	30
5.5	Isojen aukkojen muodostaminen.....	30
5.6	Aukkopalojen hyötykäyttö	31
5.7	Energia- ja raaka-ainekäyttö.....	33
6	INNOVATIIVISET CLT-ELEMENTTIEN VALMISTUSLINJAT	34
6.1	Springer	34
6.2	Weinig	35
7	POHDINTA.....	37
	LÄHTEET	39
LIITE 1: Stora Enso: Perustietoa CLT-levyistä		
LIITE 2: Springer: Elementtejä levyjen sijaan		

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Tuotesuunnittelu määrittää tuotteiden ekologiset ominaisuudet niiden elinkaaren kaikissa vaiheissa. Mikään haittoja jälkikäteen poistava tekniikka ei korvaa sitä hyötyä, jonka ympäristö saa alusta asti ekologisesti suunnitellusta tuotteesta. Raaka-ainehukan vähentäminen eli materiaalien käytön tehostaminen on mahdollista erilaisin keinoin. Vaikka hukkaprosentit eri toimialoilla vaihtelevat, uskotaan teknologian kehittymisen lisäävän materiaalitehokkuutta kaikilla aloilla. Yritykset joutuvat aika ajoin uusimaan laitteistoaan, jolloin onkin luonnollista ottaa huomioon laitteen ja mahdollisesti koko valmistusprosessin tehokkuus. Monilla toimialoilla voidaan hukkamateriaalit antaa hyötykäyttöön ilmaiseksi. On kuitenkin huomattava, että materiaalien hankkiminen maksaa aina. Materiaalitehokkuuden lisääminen säästää yhtälailla rahaa kuin ympäristöäkin. (Väisänen 2002, 9–10)

Kemin Digipoliksien tekemän kustannusvertailun mukaan CLT- ja puurankatalon materiaalien hinnassa, työmäärässä ja rakentamisen kestossa on suuria eroja. CLT-talon materiaalien kustannukset ovat isommat johtuen suuresta puun määrästä elementin valmistuksessa, kun taas puurankatalon rakentamisvaihe on huomattavasti pidempi ja työläämpi. (CLT-runkoisen ja ranka-runkoisen pientalon kustannusvertailu 2014, 10.) Materiaalimenekin pienentämisellä saataisiin nostettua CLT-tuotannon kustannustehokkuutta ja kilpailukykyä muihin rakentamismenetelmiin verrattuna kestäväen kehityksen mukaisesti. Kestäväen kehityksen mukainen toiminta tarkoittaa tuotannollisten vaikutuksien huomioimista kaikissa vaiheissa, aina jätteen käsittelyyn saakka. Raaka-aine- ja työkustannusten jatkuvasti noustessa, puutuoteteollisuudenkin on etsittävä uusia tapoja jalostusarvon nostamiseksi, sekä uusien toimintamallien kehittämiseen kilpailukykyä takaamiseksi.

Perinteinen CLT-elementin valmistus on yleensä jaettu kahteen eri vaiheeseen, joissakin tapauksissa jopa eri liiketoimintaprosesseikseen. Nämä ovat raakalevyn valmistus ja elementin työstö.(kiintopuu.fi.) Prosessien vaiheistus aiheuttaa materiaalihukkaa elementin työstövaiheessa tehtävien ovi- ja ikkuna-aukkojen muodossa. Tämä vaikuttaa raaka-aine ja käsittelykustannuksiin ja sitä myöten kustannustehokkuuteen. Tällä hetkellä monet valmistajat antavat aukkopalat asiakkailleen, mikä huomioidaan tuotteen hinnassa.

Opinnäyteyö käsittelee CLT:tä tuotannollisesta näkökulmasta. Siinä ei tarkastella minkään yksittäisen tuotantolinjan prosessia, vaan päätavoitteena on arvioida yleisellä tasolla elementtien valmistuksesta muodostuvan hukan määrää, sen kustannuksia ja kuinka sitä voitaisiin valmistusteknisesti pienentää. Tutkimusta suoritetaan tutustumalla erilaisiin tuotantoprosesseihin, sekä perehtymällä tuotannollisiin ratkaisuihin ja uusiin innovaatioihin, joiden perusteella luodaan pohja kehitysehdotuksille. Teoriatiedon tueksi suoritetaan valmistustestejä, joiden avulla voidaan havaita menetelmien puutteita ja heikkouksia

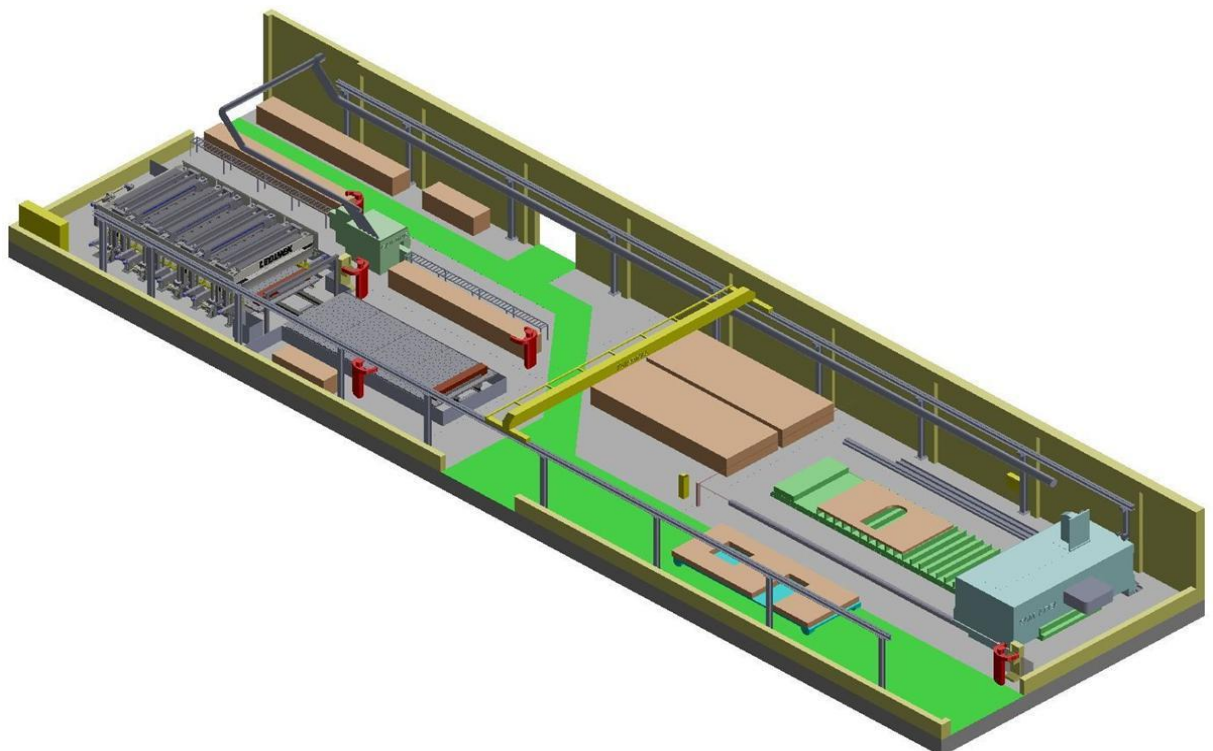
1.2 Aikaisempi tutkimus ja lähteet

Opinnäytetyössä hyödynnetään CLT:n valmistajien ja maahantuojien tuottamaa aineistoa, joista merkittävimpinä voidaan mainita Stora Enson Rakentamisen ratkaisut – manuaali ja Kiintopuu.fi sivuston esitykset. Ulkomaalaisista lähteistä perehdyttiin sähköisenä versiona saatavilla olleisiin ohjekirjoihin ja tutkimuksiin; Kanadassa FPInnovationsin julkaisemaan CLT-käsikirjaan ja Itävallassa tehtyihin tutkimuksiin.

Kirjallisuutta aiheesta ei juurikaan löydy, joten lähdeaineisto on suurimaksi osaksi sähköisessä muodossa. Tarkoitus on tutkia erilaisia tapoja valmistaa CLT-elementtejä, joten lähteiden luotettavuuden merkitys on kohtalaisen pieni. Tarkkuutta vaativat tiedot pyritään kuitenkin hankkimaan luotettavista lähteistä, kuten suurempien CLT-valmistajien tuotetiedoista.

1.3 Lappia Ammattiopisto

Tämän työn toimeksiantajana toimii Lappia ammattiopisto, joka toteutti kiintopuurakenteiden Oppimis- ja osaamisympäristö – hankkeen. Oppimis- ja osaamisympäristö sijaitsee Kemissä Sammonkatu 4:ssä. Ympäristö simuloi CLT-tehdasta ja sen linjastoon kuuluu tarvittavat työstökoneet sormijatkoslinjaa lukuun ottamatta. Linjaan kuuluu höyläkone, liimoitin, CLT-puristin, CNC-ohjattu työstökeskus, sekä levyjen siirtelyyn tarvittava yksipalkkinosturi (kuva 1). Hankekokonaisuuden tavoitteena on CLT-rakenteiden suunnittelu- ja tuotantoprosessien sekä itse puurakenteiden kehittäminen yhteistyössä alueen yritysten kanssa, sekä uuden yritystoiminnan edistäminen uusien innovaatioiden ja tuotteiden avulla. (lappia.fi.)



Kuva 1. Lappia ammattiopiston kiintopuurakenteiden oppimis- ja osaamisympäristön layout (kiintopuu.fi)

1.4 Koetalohanke

CLT-koetalohanke on Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) osittain rahoittama projekti, jonka rahoittajaviranomaisena toimii Lapin liitto. Muina rahoittajina toimivat Digipolis Oy, Lapin ammattikorkeakoulut, Kemi- Tornionlaakson koulutuskuntayhtymä Lappia, Kemi-Tornio alueen kehittämiskeskus, Lapin muut kunnat, yritykset ja muut yhteisöt. Projektin tarkoituksena on tutkia CLT-rakenteen toimivuutta Suomen olosuhteissa ja selvittää oikeaoppiset tavat soveltaa materiaalia ja näin konkreettisesti lisätä tietoutta uudesta rakentamistavasta vauhdittaen koulutuksellisia lähtökohtia. Rakennustavan toimivuudesta halutaan olla täysin varmoja, ennen kuin Pk-yritysten CLT-tehdasinvestointeja aloitetaan Suomessa. CLT-rakentamisen lisäksi hankkeella pyritään jatkamaan TEM-MSO-PuuSuomi-toimintaa Lapissa ja tämän myötä aktivoimaan puurakentamisen koko toimialan kehittymistä ja yritysten hankeohjausta. (kiintopuu.fi)

Hankkeen päätoteuttajana toimii Digipolis Oy, joka on myös osaltaan ollut vaikuttamassa saamaani toimeksiantoon projektipäällikkö Tytti Ahorannan ehdottaessa opinnäytetyön aihetta. Lisäksi käytän tämän työn laskelmissa ja havainnollistamisen apuna koetalon (kuva 2) elementtikuvia. Laskelmien avulla kartoitetaan hukan määrää ja sen aiheuttamia kustannuksia.



Kuva 2. Koetalo (kiintopuu.fi)

2 CLT

2.1 CLT:n historia

CLT-levyn kehittäminen aloitettiin Itävallassa 1990-luvun alussa yritysten ja korkeakoulujen yhteistyönä. Tuote saatiin kaupallistettua vuosikymmenen puolella välissä nykyisessä muodossaan. Kehitystyö oli hidasta useita vuosia, mutta taloudellisuuden, tuotehyväksyntöjen, markkinoinnin ja jakelukanavien kehittymisen ja lisääntyneen ekorankentamisen vuoksi CLT-rakentaminen kasvoi merkittävästi 2000-luvun alussa. Se on kasvattanut suosiotaan viime vuosina Euroopassa, Pohjois-Amerikassa ja se on myös suomalaisittain kiinnostava uusi puurakennejärjestelmä ja rakennusmateriaali. Maailmalla on tehty satoja rakennuksia, jotka osoittavat monia CLT-rakentamisen etuja. Se soveltuu itsessään kantavaksi rakenteeksi ja on verrattavissa rakentamisen arvoketjussa betonielementtiin, minkä lisäksi se on tuonut rakenteellaan uusia ulottuvuuksia arkkitehtien ja insinöörien käytettäväksi täysipuisen rakenteensa, hyvän työstettävyyden ja keveytensä avulla. (FPInnovations 2011. History, 1; Brandner 2013, 2.) CLT-levyn valmistajia on maailmalla useita ja heillä on tuotteelle omia nimityksiä, kuten KLH, X-LAM, Haas BSP, Leno, Binder ja BBS.

Vuonna 2013 CLT:n tuotanto oli Keski-Euroopassa n. 550 000 m³, josta 63 % valmistettiin Itävallassa, 26 % Saksassa ja 6 % Sveitsissä (Brandner 2013, 3). Vuonna 2014 perustettiin myös Suomeen ensimmäinen CLT-tehdas. Yrityksen nimi on Oy Crosslam Kuhmo Ltd ja tähän mennessä he ovat valmistaneet mm. useita pien- ja paritaloja, Raiso—Nousiainen välisen melunsuoja-aidan, kerrostalojen parvekkeita ja luhtitalojen käytäviä. (CLT-tuotteita suomalaisesta puusta, 10.)

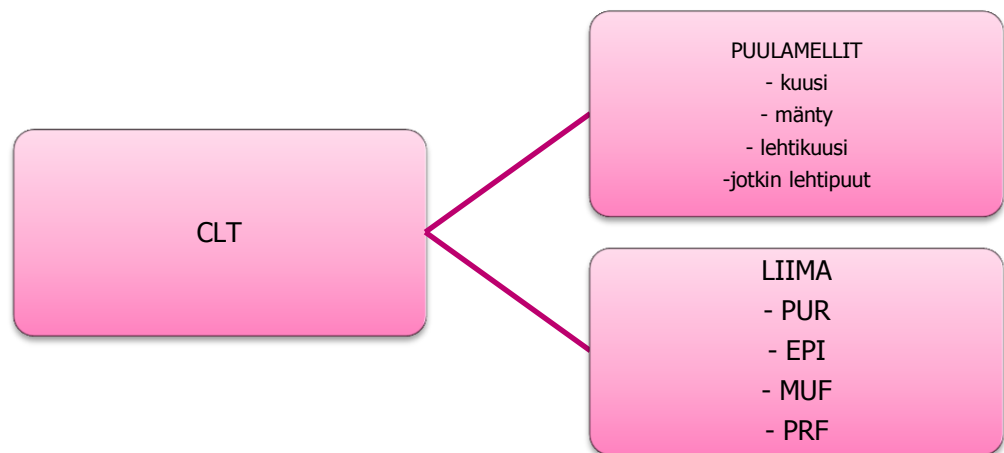
2.2 Rakenne

CLT (engl. Cross Laminated Timber) on tuoterakenteeltaan yksinkertainen rakennuslevy (kuvio 1), mikä koostuu ristikkäisistä puulamellikerroksista, jotka ovat liitetty toisiinsa liimaamalla (kuva 3). Raaka-aineena levyissä käytetään yleensä lujuuslajiteltua kuusisahatavaraa, mutta vaihtoehtoina ovat myös mänty, lehtikuusi ja jotkin lehtipuut, kuten esimerkiksi saarni, poppeli ja koivu. Lehtipuilla saadaan havupuihin verrattuna parempi mekaaninen kestävyys.



Kuva 3. CLT-raakalevy (Halmi 2014-01-30)

Pinta- ja sormijatkosliimauksessa käytetään usein formaldehyditöntä polyuretaaniliimaa, minkä lisäksi Stora Enso käyttää syrjäliimauksessaan EPI-liimaa, ja toisin kuin Suomessa, maailmalla käytetään myös formaldehydiä sisältäviä MUF- ja PRF-liimoja. (clt.info.fi a; Brandner 2013, 5.) MUF-liiman hyvät ominaisuudet ovat sen kuumuuden kesto, sekä suurtaajuuden tai lämmön käyttö liiman kovettumisprosessin nopeuttamisessa. Heikkouksia ovat formaldehydipäästöt, sekä kaksikomponenttisyydestä johtuva tarkka sekoitussuhteen säätäminen. Polyuretaaniliiman vahvuuksia ovat formaldehydittömyys ja liiman ominaisuus turvotessaan lisätä puristuspainetta saumassa. Sen heikkoudeksi voitaneen mainita ainakin alhainen kuumuuden kesto ($T < 60\text{ °C}$). Molemmat näistä liimoista kestävät auringonvaloa, kosteutta ja hydrolyysiä eli kemiallista reaktiota, missä kosteus aiheuttaa yhdisteen hajoamisen lähtöaineikseen hyvin (Brandner 2013, 9). Myös PRF-liimalla on hyvät sään- ja kosteudenkesto ominaisuudet, mutta se muodostaa lamellien väliin epäesteettisen ruskean liimasauman.



Kuvio 1. Tuoterakenne (Tervo 2015)

Lamellien paksuus, kerrosten lukumäärä ja suunnat levyssä määräytyvät sen käyttötarkoituksen mukaan. Lamellien suunnan valintaan levyn mitoituksessa vaikuttaa se, että kuormia kantavina huomioidaan vain ne kerrokset, joissa lamellin syysuunta on sama ulkoisten kuormien aiheuttaminen jännitysten kanssa (Puurakenteiden suunnitteluohje. CLT-päivityksiä. RIL. 205-1-2009). Pystykuormaa välittävissä rakenteissa (seinärakenteet) ei yleensä ole kahta peräkkäistä samansuuntaista kerrosta, kun taas yhteen suuntaan kantavissa vaakarakenteissa (kattorakenteet) pääosa lamellikerroksista liimataan kantavan suunnan mukaisesti parantamaan levyn taivutuskestävyyttä (Kryssi 2013, 49). Kerroksia CLT-levyissä on vähintään 3 ja enintään 20. Viisikerroslevyissä saa olla enintään kaksi ja seitsemän lamellikerrosta sisältävässä levyssä enintään kolme samansuuntaista päällekkäistä kerrosta levyn myös ollessa yleensä poikkileikkausprofiililtaan symmetrinen (Puurakenteiden suunnitteluohje. CLT-päivityksiä. RIL. 205-1-2009). Poikkeuksia tähän voi olla erilaisten komponenttien kuten akustiikkalevyjen kiinteä liittäminen CLT-levyyn, jolloin voimien tasapainottamiseksi voi olla järkevää tehdä ylimääräinen kerros levyn vastapuolelle. Yleensä CLT-levy myös koostuu saman lujuusluokan lamelleista, mutta niitä voidaan myös sekoittaa keskenään niin, että samassa kerroksessa olevat lamellit ovat keskenään samaa lujuusluokkaa. Tämä täytyy huomioida laskettaessa levyn lujuutta ja

jos eri lujuusluokan lamelleja sekoitetaan keskenään, on lujuus arvioitava heikoimpien lamellien mukaan. (Brandner 2013, 6.)

CLT-levyn lamellin maksimipaksuudeksi rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset määrittävät 45 mm ja sormijatkosten tulee täyttää standardin SFS-EN 385 (kumottu) mukaiset vaatimukset, jonka nykyisellään on korvannut standardi SFS-EN 14080 (Ristiinlaminoitu massiivipuulevy. CLT. RT 14-11016, 221;). Sormijatkokset voivat olla joko lappeen tai syrjän suuntaiset. Lappeen suuntainen jatkos on suositeltava sen visuaalisuuden suhteen, koska jatkos näkyy levyn pinnassa ainoastaan suorana viivana, toisin kuin syrjän suuntainen jatkos, missä sormet jäävät näkyviin. Lappeen suuntaisen jatkoksen etuja ovat myös sen parempi ilmatiiveys. (Brandner 2013, 7.)

Stora Enson valmistamien CLT-levyjen lamellin maksimivahvuus on 40 mm ja lamellin leveys vähintään 60 mm. Levyn dimensiot ovat valmistajasta ja tuotantolaitteistosta riippuvaisia, mutta esimerkiksi Stora Enso ilmoittaa levyn maksimipaksuudeksi 400 mm, -leveydeksi 2 950 mm ja -pituudeksi 16 000 mm. Kanadalaisen tutkimuskeskus FPInnovationin mukaan on tehty jopa 500 mm paksuja ja 18 000 mm pitkiä levyjä. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012; FPInnovations, Definition of cross laminated timber (CLT), 3.)

Pinnanlaadultaan levyille ei ole asetettu vaatimuksia, mutta Stora Enso jakaa ne omissa tuotteissaan kolmeen osaan, A, B ja C laatuihin, jossa A on näkyville jätettävä, niin sanottu dekoratiivinen laatu, missä pintalamellien ulkonäkö on muita kerroksia parempi. Tällä tavoin pystytään käyttämään ulkonäöltään huonompilaatuista materiaalia levyn muissa kerroksissa ja hyödyntämään raaka-aine tehokkaasti. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

2.3 Ominaisuudet

CLT-levyllä on paljon etuja perinteisiin rakennusmenetelmiin verrattuna. Niitä ovat mm. lyhyt pystytysaika, tiiveys, työstettävyyden ja materiaalin keveys. Lisäksi se on mittatarkka (± 1 mm) ja kuiva rakennusmenetelmä, johtuen tehdasolosuhteissa valmistetuista elementeistä. Rakentaminen on hyvin nopeaa, koska se ei vaadi betonirakentamisen tapaan kuivattamisesta johtuvia keskeytyksiä rakentamisessa. Talvirakentamisessa ominaisuus korostuu, kun rakennusta ei jäätymisen ehkäisemiseksi tarvitse lämmittää.

Pystytetty elementti voidaan verhoilla sekä ulkopinnaltaan, että sisältä, mutta sisäpinta voidaan haluttaessa jättää myös paljaaksi. Lisäksi CLT:llä voidaan säästää jopa 6–10 % asuinpinta-alaa verrattuna muihin rakentamismenetelmiin mm. ohuiden väliseinärakenteiden ja verhoilemattomien pintojen avulla. CLT:n rakenne mahdollistaa monipuoliset kiinnitykset suoraan seinäpintaan. Esimerkiksi kiintokalusteiden, valaisimien, hyllyjen yms. asentaminen siihen on helppoa. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012; puuinfo.fi.)

Rakentamisen etujen lisäksi CLT:llä on suuri terminen massa, joka varastoi lämpöä talvella ja pitää rakennuksen kesällä viileänä. Tämä voi säästää jopa 20 % lämmityskustannuksista ja myös itse

valmistuksen energiankulutus on vain kolmasosa vastaaviin betonielementteihin verrattuna. Nämä ominaisuudet lisäävät energiatehokkuutta ja toisin kuin betonielementti se toimii hiilinieluna koko elinkaarensa ajan. Puu on materiaalina myös helposti kierrätettävä, joten se voidaan mieltää hyvin ekologiseksi ilmastomuutosta hidastavaksi rakennusmateriaaliksi. Lisäksi useimpien CLT:n valmistajien levyrakenteille on myönnetty ympäristösertifikaatti eli PEFC-merkintä raaka-aineen hankinnasta kestävästi hoidetuista metsistä. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

2.3.1 Lujuus- ja kosteustekniset ominaisuudet

Ristikkäisrakenteen vuoksi CLT-levyllä on erittäin hyvät lujuusominaisuudet. Tuote on itsessään kantava rakenne, jossa kuormat jakautuvat teräsbetonirakenteiden tapaan kahteen suuntaan. Ominaisuus antaa joustavimmat mahdollisuudet tilojen suunnitteluun ja monipuolistaa tuotteen käyttömahdollisuuksia. (clt.info.fi b.) Puukuitujen lujuuden vuoksi CLT-rakenteet sopivat myös maanjäristysalueille, eikä se keveytensä vuoksi lisää värähtelyä betonin tapaan. CLT on rakenteensa vuoksi herkempi ajan tuomille muutoksille kuin tavallinen liimapuu, minkä kosteus ja lämmönvaihtelu aiheuttavat. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012; FPInnovations 2011, Introduction, 16.) Tämä on huomioitava rakennesuunnittelussa ajallisen keston ja taipuman suhteen. CLT:n lujuusluokka on yleensä C24, mutta valmistajat voivat tehdä haluttaessa myös muita luokkia. Sen käyttöluokat ovat 1 ja 2 mikä tarkoittaa, että sitä voidaan käyttää ainoastaan kuivissa tiloissa ja ulkona olevissa rakenteissa säältä suojattuna. CLT:tä ulkona käytettäessä on muistettava rakenteen suojaus ja pinnoitus. Sen käsittelyyn voidaan käyttää kaikkia puulle tarkoitettuja pintakäsittelyaineita. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

CLT:llä on lujuuden lisäksi kosteusteknisiä ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää lamellikerrosten muodonmuutosten hallinnassa, kun levyn kerrokset estävät viereisten kerrosten syitä vastaan kohetuisuoran kosteusliikkeen. Kosteusteknisenä etuna voidaan katsoa myös se, ettei CLT-rakenteeseen tarvita erillistä höyrynsulkua, vesihöyrynvastuksen ollessa 16 ohuimmalla 60 mm:n levypaksuudella. Ulkoseinärakenteessa tarvitaan höyrynsulku, jos seinän ulkopinnan ja sisäpinnan vesihöyryvastuksen suhde on alle 5. (Kryssi 2013, 50–51.)

2.3.2 Lämpötekniset ominaisuudet

Puu on lämmönjohtavuudeltaan suhteellisen huono materiaali ja sen lämpötekniset ominaisuudet määrittää tiheys ja kosteuspitoisuus. Sitä voidaan käyttää lämmöneristyskerroksessa, eikä se aiheuta merkittävää kylmäsiltaa rakenteisiin. Lämmön aiheuttamat muodonmuutokset ovat hyvin pieniä ja lämpölaajenemista ei tarvitse huomioida kuin alle 0 °C:n lämpötiloissa, jolloin voi aiheutua pakkashalkeamia. (Siikanen 2008, 331.) CLT:n ominaisuudet ovat samankaltaiset ja se on pitkälti verrattavissa tavalliseen puuhun. Stora Enson kuudesta valmistettujen CLT-levyjen lämmönjohtavuus arvoksi on mitattu 0,11 W/m²K (liite 1). FPInnovationsin käsikirjan (2011 Enclosure, 7) mukaan CLT-levyjen tiiveys voi vaihdella johtuen mm. kuivumisesta tai rakentamisvaiheen kosteusvaihteluista.

Suomen rakentamismääräysten mukaan asuinrakennuksen ulkoseinän U-arvon on oltava vähintään $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tämän vaatimuksen täyttääkseen on CLT-levyyn liitettävä erillinen lämmöneriste. Tällä hetkellä, kun CLT:tä ei vielä rinnasteta hirsirakenteeseen, olisi seinän paksuuden oltava 600 mm täyttääkseen ulkoseinälle asetetun U-arvovaatimuksen verhoilemattomana. Ilmatiiveyden osalta CLT taas on omaa luokkaansa, joka kävi ilmi Itävaltalaisen tutkimuskeskuksen suorittamista testeistä. CLT-levyt ja saumat olivat niin tiiviit, että ilmanvuotoa ei pystytty mittaamaan. (Brännare 2012, 13; Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012.)

2.3.3 Äänitekniset ominaisuudet

Äänen nopeus puussa on syiden suunnassa yli kymmenkertainen verrattuna äänennopeuteen ilmassa. Se on verrannollinen kimmomoduuliin ja kääntäen verrannollinen tiheyden neliöjuureen. Syitä vastaan nopeus on noin 3—5 kertaa pienempi, kuin syiden suunnassa. Massiivinen puu ja puutuotteet ovat yleensä huonoja äänen absorboijia, jotka kiinteään pintaan liitettynä heijastavat yli 90 % äänienenergiasta. Ilmäänen- ja askelääneneristävyys ovat puulla heikkoja ja voidaan todeta, ettei se ole missään olosuhteissa paras mahdollinen materiaali niiden suhteen. (Kärkkäinen 2007, 249—250.) Näistä yleisistä puun ominaisuuksista voitaneen päätellä, että CLT-levy ei itsessään riitä äänieristykseksi, vaan se on suoritettava muilla tavoin. Levyn yläpuolelle on esimerkiksi mahdollista asentaa eristys ja kelluva laatta, joko betonista tai rakennuslevystä. Jos halutaan lisäksi parantaa askelääneneristystä, voidaan CLT-levyn alapuolelle lisätä kipsilevy akustisen jousirangan varaan (FPInnovations 2011, Acoustic, 24—31). Ominaisuuksistaan huolimatta CLT-talon äänimaailmaa kuvaillaan miellyttäväksi, joka johtunee hyvin toteutetusta äänieristyksestä yhdistettynä puun ominaisuuksiin.

2.3.4 Palotekniset ominaisuudet

CLT on massiivisena puulevynä luultua parempi palonkesto-ominaisuuksiltaan. Palolle altistuessaan levyn pintaan muodostuu hiiltynyt kerros, joka hidastaa vaurioiden syntymistä rakenteeseen. (Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012). Yleisesti myös tiedetään, että puu palaa vasta, kun sen solukosta on poistunut kaikki vesi. Kosteuden poistumisen jälkeen solukko hiiltyy keskimäärin $0,65 \text{ mm/min}$ eli hieman hitaammin, kuin massiivipuu (FPInnovations 2011, Introduction, 17). CLT-levy täyttää Euroopan komission päätöksen mukaisesti luokan D-s2,d0 ja latioissa Dfl-s1 rakennustarvikkeiden palonkestovaatimukset (liite1).

2.4 Käyttökohteet

CLT:stä voidaan valmistaa suorat ulkoseinä-, ulkoseinän korotus-, päätykolmio-, väliseinä-, alapohja-, välipohja- ja yläpohjaelementit, jotka voidaan liittää myös betonirakenteisiin. Ne soveltuvat rakenteiksi pientaloihin, rivitaloihin, loma-asuntoihin, liiketiloihin, teollisuushalleihin, kouluihin, päiväkoteihin, urheiluhalleihin ja sitä voidaan käyttää myös maisemarakentamiseen esimerkiksi meluaitojen raaka-aineena. Erityisen hyvin se kuitenkin sopii kerrostalorakentamiseen, johon se tuo paljon uusia mahdollisuuksia, mm. puurankarakenteista paljon suuremmat kerroskorkeudet. Seinäelementtien li-

säksi on kovaa vauhtia kehittymässä valmiiden tilaelementtien valmistus. CLT:tä voidaan käyttää kaikissa puurakennejärjestelmissä, joita ovat esimerkiksi Pre-cut-, pienelementti, suurelementti- ja tilaelementtijärjestelmä, sekä hirsirakenteiden kanssa, pilari-palkkirakenteiden vaipparakenteena ja erilaisissa hybridirakenteissa. (kiintopuu.fi.)

3 CLT-ELEMENTTIEN VALMISTUS

3.1 Raaka-aineen valinta

CLT-levyn raaka-aineena käytetään lujuuslajiteltua sahatavaraa, jonka vaatimukset asetetaan lujuusluokkien C18...C30 mukaan. Sahalla puutavara kuivataan n. 9—11 % kosteuteen ja lajitellaan A, B ja C laatuihin, minkä jälkeen se varastoidaan odottamaan jatkokäsittelyä. Kuivaus voidaan suorittaa myös tehtaalla, jolloin kuivauslaatu on valmistajan itsensä hallittavissa. (kiintopuu.fi.)

3.2 Lamellien työstö

Sahalta raaka-aine siirretään CLT-tehtaalle (kuva 4), mistä prosessin ensimmäinen vaihe alkaa. Lyhyet lamellit odottavat höyläystä ja pidemmän sivun lamelleille suoritetaan laaduttava sormijatkaminen, missä lamelleista poistetaan kelpaamaton materiaali pois, työstetään liitokset, levitetään liima ja liitetään kappaleet yhteen. Sormijatkamisessa tärkeää on sormien laadukas työstö ja sopivan puristuspaineen säätäminen puulajin, sormen muodon, kosteuden ja kappaleen koon mukaan. Myös molempien lamellipituuksien sormijatkaminen on mahdollista, jolloin pituusjako tapahtuu vasta katkonnassa ennen liimoitusta, tällöin sormijatkolinjan kapasiteetin täytyy kuitenkin olla huomattavasti suurempi työstösykliä kaksinkertaistumisen takia. (kiintopuu.fi; Brandner 2013, 8.) Seuraavana lamellit höylätään, missä ne työstetään kaikilta neljältä sivultaan. Höyläys kytkeytyy eräajoperiaatteen vuoksi suoraan liimoitus, ladonta ja puristusvaiheeseen. Höylätyt lamellit katkotaan määrämittaan ja siirretään prosessista riippuen joko syrjäliimaukseen Stora Enson käyttämään tapaan, suoraan eräajona lyhyet ja pitkät lamellit omille puolilleen liimoituspöydän viereen tai välivarastoon odottamaan liimoitusta. Välivarastoinnissa on huomioitava, että höylätyt kuusilamellit voidaan varastoida vain 24 tunnin ajaksi. (kiintopuu.fi.) Tämä johtuu pinnalle nousevista puun uuteaineista, jotka heikentävät liimasauman muodostumista.

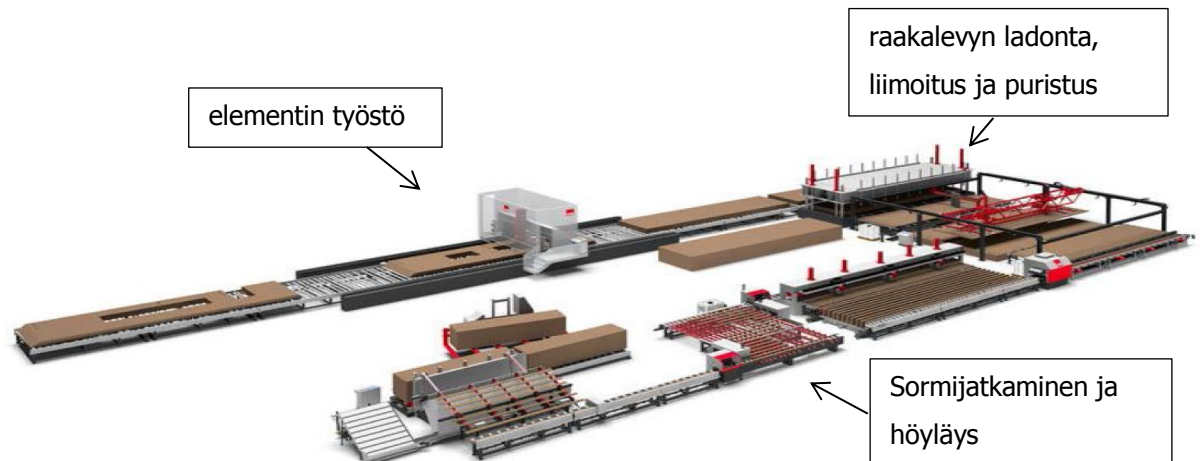
Levyn rakenne voi koostua myös osittain syrjäliimatuista aihioista ja irrallisista lamelleista, missä levyn pinnat ovat syrjäliimattuja ja muut kerrokset lamelleina. Prosessina se on monivaiheinen ja vaatii jo molempien kappaleen alussa mainittujen menetelmien tuotantotekniikan. Kuvioista 2 on nähtävissä irrallisista lamelleista sekä syrjäliimatuista levyistä valmistuksen vaiheet.

3.3 Liimoitus ja puristus

Ensin lamellit siirretään alipainenostimella kasauspöydälle, jossa liima levitetään niin sanotulla liimaportaalilla kerroksen päälle ja nostetaan seuraava lamellikerros liimoitettavaksi. Tämä vaihe toistetaan kerrosmäärien mukaan. Liimamäärä on noin 150–200 g/m² (PUR) ja avoin aika 10–30 minuuttia. Nämä suureet ovat täysin riippuvaisia käytetystä liimatypistä, joten käyttötiedot on varmistettava liimaa valittaessa valmistajalta. (kiintopuu.fi.)

Valmis levyaihio siirretään puristimeen, jossa tehdään levyn lape- tai lape- ja syrjäpuristus menetelmän mukaan. Puristuspainetta säädettäessä on huomioitava käytetty puulaji ja liimamäärä/paine suhde. Liian kova puristusaine voi aiheuttaa liiman poistumisen saumasta ja jopa puun soluraken-

teen rikkoutumisen, lisäksi havupuilla voi ilmetä liiman liiallista imeytymistä. Kuusen solurakenteen heikkenemistä on havaittu jo $0,6 \text{ N/mm}^2$ paineessa. (Brandner 2013, 13.) Levyn puristusaikaan vaikuttaa käytettävän liiman ominaisuudet, mutta tuotantoprosessin kannalta olisi hyvä päästä noin 20–40 minuuttiin, joka myös usein on kaksi kertaa liiman avoinaika. Levyjä voidaan puristaa useampia samanaikaisesti, jolloin on huomioitava työvaiheajat ja ajoitettava ladonnan, liimoituksen ja puristuksen vaiheet oikein. Puristuksen jälkeen valmis levy siirtyy joko hiontaan tai suoraan varastoon levyn pinnanlaadun vaatimusten mukaan.



Kuva 4. Perinteinen CLT:n valmistuslinja sivusyöttöisellä puristimella (kiintopuu.fi)

Raakalevyn valmistusprosessissa ei tarvita vielä erikoisia ohjelmia tuotannonohjaukseen eikä 3D-suunnittelua, mutta eräkohtaisen valmistuksen vuoksi on tarvittavien lamellilajikkeiden tuleva tarve määritettävä tarkoin ja noudatettava sormijatko- ja höyläysvaiheissa liimauksen ja puristuksen tuotanto-ohjelmaa. Valmis raakalevy siirtyy tuotannossa eteenpäin elementin työstövaiheeseen, jossa siitä tehdään valmis elementti. Vaihtoehtoisesti raakalevy voidaan toimittaa sellaisenaan asiakkaalle. (kiintopuu.fi.)

3.4 Puristuslaitteisto

Puristimia on mm. paineilmalla, hydraulikalla ja alipaineella toimivia. Paineilmatoimisesta puristimesta voitaisiin käyttää esimerkkinä Lappia Ammattiopiston oppimis- ja osaamisympäristön tiloissakin olevaa Ledinekin X-press puristinta (kuva 5). Puristin koostuu moduuleista, joilla voidaan määrittää puristettavan levyn maksimipituus. Sillä saadaan 1 N/mm^2 lapepuristus, $0,3 \text{ N/mm}^2$ sivusuuntainen syrjäpuristus ja $0,5 \text{ N/mm}^2$ pituussuuntainen syrjäpuristus. Ominaisuuksiltaan paineilma ja hydraulipuristimet ovat hyvin samanlaisia molempien mahdollistaessa säädettävän puristuspaineen ja syrjäpuristusmahdollisuuden, minkä lisäksi pystytään tuottamaan tasaisia levyjä ja poistamaan materiaaleissa esiintyviä pieniä paksuuspoikkeamia. Paineilmapuristimen eduksi tosin voidaan katsoa sen öljyttömyys ja alhainen virrankulutus, minkä vuoksi sillä on pienemmät käyttökustannukset. Molemmat puristintyytit ovat kapasiteetiltaan suurehkoja ja mahdollistavat yli $25\,000 \text{ m}^3$:n vuosituotannon. Vakuumlaitteistolla (kuva 6) tehtävässä alipainepuristuksessa levy kasataan allasmaiseen tilaan minkä päälle levitetään eräänlainen pressu. Altaan sisään imetään pumpulla alipaine, jolla puristusvoimaksi saadaan noin $0,01 \text{ N/mm}^2$. (FPInnovations, Manufacturing, 13.) Tällainen laitteisto sopii

pienimittakaavaiseen CLT-tuotantoon, kapasiteetin ollessa 2 000—5 000 m³ vuodessa. (Brandner 2013,17).



Kuva 5. Ledinekin X-press puristin. Puristimen pituutta voidaan muuttaa lisäämällä moduulien määrää (ledinek.com).

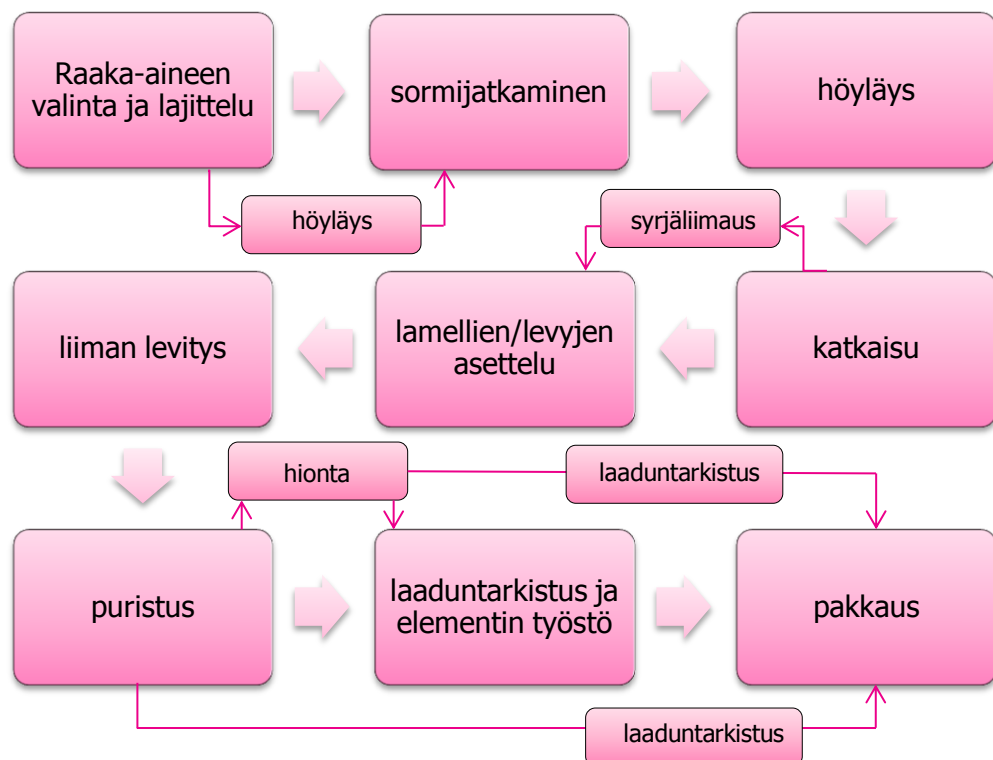


Kuva 6. Woodtec Fankhauserin vakuumpuristin (woodtec.ch)

3.5 Laadunvalvonta ja -testaus

Tulevan puutavaran laatua tarkkaillaan sen kosteuden, lämpötilan, laadun ja mittatarkkuuden osalta. Käytetyllä raaka-aineella pitää myös olla ympäristösertifikaatti (PEFC), jonka sahalaitoksen täytyy huolehtia. CLT-raakalevyn valmistuksen aikana tarkkaillaan informaatiota, jota saadaan mm. sormijatkamisesta, höyläyksestä, liimoituksesta ja puristuksesta. Tuotannon laadunvarmistuksen ja tuotantoerien tasalaatuisuuden vuoksi on myös tuotantotilojen olosuhteiden oltava optimaaliset lämpötilan ja kosteuden suhteen. Yleiseen laaduntarkkailuun kuuluu lamellien dimensioiden tarkkailu ja pinnanlaadun valvonta. (kiintopuu.fi.)

Laadunvalvontaan kuuluu oleellisesti myös testaus, jonka merkitys yrityksen toiminnalle ja sertifikaatin saamiselle on erittäin tärkeä. Testattavia kohteita ovat ainakin sormijatkoksen taivutus ja liimasauman delaminointikoe, joiden avulla voidaan varmistaa tuotteen laatu ja havaita yksittäisen erän epäonnistuminen. Delaminointikokeen näytekiekko otetaan valmiista CLT-levystä, minkä aiheuttama reikä on paikattava. Laatujärjestelmälle ja laadunvalvonnalle tarvitaan ulkopuolisen, akreditoitun laitoksen hyväksyntä, mutta vielä ei ole selvillä mikä laitos sen voi myöntää nimenomaan CLT-liimapuulle. (kiintopuu.fi.)



Kuvio 2. CLT:n työnkulkukaavio (Tervo 2015).

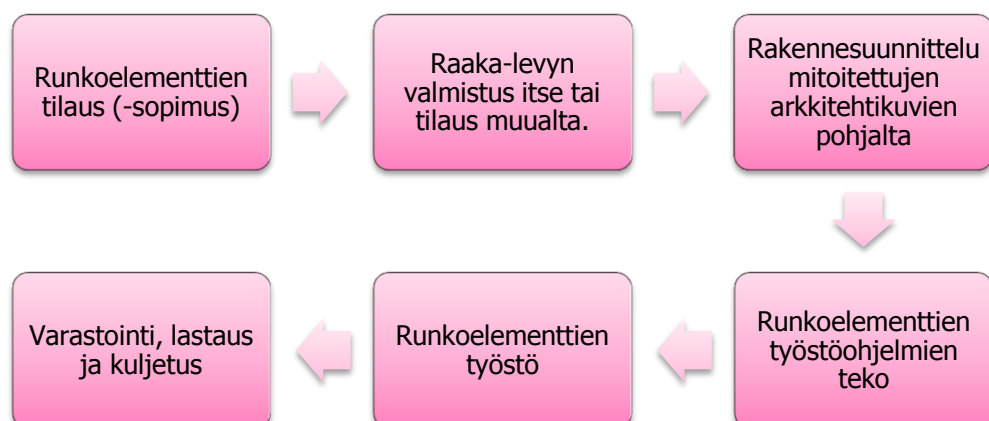
3.6 Elementin valmistus

Runkoelementeillä tarkoitetaan CLT-raakalevystä valmistettuja, lähes kaikkiin puurakentamisen järjestelmiin soveltuvia rakennuselementtejä (kuva 7). CLT-runkoelementtilinja voi olla täysin oma tuotantoyksikkö tai -yritys, mutta linja voi olla myös kiinteästi raakaelementtilinjan perässä. Tuotantolinja koostuu pelkästä CNC-työstölinjasta, joka voi sisältää yhden tai useamman työstökoneen.



Kuva 7. Valmis CLT-elementti (puuinfo.fi)

Runkoelementin valmistuksen (kuvio 3) aloittaa tilaajan kanssa tehty sopimus, joka myös määrittelee sen sisällön. Siinä on kuvailtava työstöt, jotta ne voidaan arvioida valmistuksen kannalta sopiviksi ja varmistettua niiden toteutuskelpoisuus. Tämän vaiheen jälkeen tilataan aihiot joko omalta raakalevylinjalta tai muulta CLT-raakalevyn valmistajalta. Asiakkaalta saatujen arkkitehtikuvien pohjalta tehdään rakennesuunnitelmat, rakenteiden elementointi, työstöjen optimointi ja runkoelementin työstöjen suunnittelu. Valmiista suunnitelmista toteutetaan ohjelmat, joissa annetaan eri työstöihin tarvittavat parametrit. Valmis ohjelma syötetään koneelle, joka työstää jyrsimällä ja sahaamalla ohjelman mukaiset aukot, liitokset, kyntteet ja muut tarvittavat työstöt. Työstössä muodostuvat aukkopalat seuraavat yleensä elementtien mukana asiakkaalle ja ne usein kiinnitetään tukemaan elementtiä kuljetuksen ajaksi. Valmiiseen elementtiin on merkittävä tilaustiedot, käyttökohdenimike, rakennussuunnitelmaan viittaava numero, tuotehyväksynnän tiedot sekä muut elementin jäljitystiedot. (kiintopuu.fi.)



Kuvio 3. Runkoelementin valmistus.

Tilausten muutokset täytyy pitää koko prosessin aikana erittäin tarkassa valvonnassa, eikä viimehetken muutoksia tuotannossa voida sallia. Työstöissä voidaan yhdistellä eri tilauksia, jos raakalevy on niissä samaa lajiketta. Yhdistelyn avulla pystytään näin parantamaan raakaelementtien hyötysuhdetta, kun saadaan sovitettua työstettävät elementit optimaalisesti raakalevyn ”pinnalle”. Runkoelementtien valmistuksessa onkin syytä pyrkiä hyödyntämään raakalevyn maksimipituutta, joka usein on 16 m. Suuri pituus edesauttaa raakalevyn optimointia runkoelementiksi. Linjan kapasiteettiin vaikuttaa suoraan kuinka pitkälle työstöt viedään. Jos elementtiin tehdään täydelliset talotekniikan työstöt, pudottaa se kapasiteetin (m²) jopa puoleen. (kiintopuu.fi.)

3.6.1 Työstölaitteisto ja työstöt

CLT-elementtien työstämiseen käytetään tietokoneohjattuja portaalityöstökeskuksia (kuva 8), jotka ovat perinteistä CNC-jyrsinlaitteistoa isompia ja kehitetty suurten levymäisten tuotteiden käsittelyyn. Yleiset CLT:n työstöön käytettävät työkalut ovat samoja kuin perinteisellä CNC-jyrsimellä, kuten varsijyrsin, kehäjyrsin, porat ja pyöröterä (kuva 9). Näiden lisäksi käytetään ketjusahaa, jota ei ainaakaan tavallisesti löydy pienemmistä työstökeskuksista.



varsijyrsin



ketjusaha



pyörösaha



kehäjyrsin

Kuva 9. CNC-työstökeskuksen työkaluja (kiintopuu.fi)

Yleensä aukot tehdään pyörösahalla ja varsijyrsimellä, jolloin elementin sisäpuolisen työstön kulmat ovat pyöreät, mutta ne voidaan työstää myös ketjusahalla saaden aikaan terävät kulmat. Erilaiset syvennykset voidaan tehdä varsijyrsimellä ja kehäjyrsimellä, kun taas pyöreät reiät varsijyrsimellä tai poralla riippuen niiden dimensioista. Isot reiät jyrsitään varsijyrsimellä, mutta pienet kannattaa tehdä reiän halkaisijan mukaisella poralla, niin näkyville kuin piiloon jääviin pintoihin. Kaapeliuria tehtäessä on suunniteltava työstöt siten, etteivät ne aiheuta rakenteeseen liian suurta lujuusteknistä

heikkenemistä. (kiintopuu.fi.) Työstoissa on perinteisen CNC-työstämisen tapaan otettava huomioon kappaleen koko ja muoto, kappaleen kiinnitys, työstöjärjestys, työkalujen vaihdot, terävalinnat, pyörimissuunnat ja nopeudet, syöttönopeus, työstöaika, teräliikkeet ja elementtien siirrot, kuten nostot ja kääntäminen (Tietomallinnuksen merkitys suunnittelussa ja CLT-tuotannossa 2015, 11).



Kuva 8. Lappia ammattiopiston CNC-portaalityöstökeskus (kiintopuu.fi)

Työstöt, kuten erilaiset liitokset olisi hyvä tuotteistaa ja näin kehittää CLT-rakenteiden kehittymistä, minkä lisäksi niissä olisi syytä noudattaa Runko-PES-periaatteita. Kun koko rakennus toteutetaan CLT:stä, voidaan samoja työtapoja noudattaa kautta linjan, eikä liian innovatiiviset liitosratkaisut hankaloittaa yhtenäisen rakentamistavan toteuttamista. (kiintopuu.fi.)

3.6.2 Elementin laadunvalvonta

Elementin valmistuksessa tarkkaillaan tulevan raakalevyn kosteutta, lämpötilaa, laatua ja sen mittatarkkuutta. Tuotantohallin olosuhteet on myös oltava kohdallaan ja sen osalta mitataan tuotantotilan lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta. Työstöjen laatua mitataan säännöllisillä ja satunnaisilla mittauksilla ja työstöohjelmat on myös tarkistettava ennen käyttöä simulaattorilla, jolla voidaan havaita ohjelmoinnissa tapahtuneet virheet. (kiintopuu.fi.)

Käytettävästä laatuja järjestelmästä ei kannata tehdä liian monimutkaista, vaan yksinkertainen lomakeisto riittää. Pääasia on, että kaikki oleelliset asiat tehdään huolella ja laadun kannalta kriittiset asiat dokumentoidaan. (kiintopuu.fi.)

4 HUKKA

Likerin (2004) mukaan hukka on kaikkea mikä ei tuota lisäarvoa asiakkaan näkökulmasta. Asiakas voi olla loppuasiakas, mutta myös seuraava työvaihe tai oma tuotantolaitos eli sisäinen asiakas. Itse työvaiheisiin kuuluu monenlaista hukkaa, mutta osa niistä on välttämättömiä, jotta tuottaminen on mahdollista. Tällaisia ovat esimerkiksi tuotteen tai työkalujen siirtäminen oikeaan paikkaan. Piirainen (2014) esittää artikkelissaan, että hukan poistaminen ei ole itse tarkoitus, vaan arvon lisääminen ja läpimenon kasvattaminen käyttämällä tiedostettua hukkaa keinona siihen. Hän kertoo artikkelissaan myös, että arvolla tarkoitetaan tuotteen valmistuskustannusten ja asiakkaan tuotteesta maksaman summan suhdetta. Liiketoiminta on kannattamatonta, jos tuottaminen tulee kalliimmaksi kuin siitä saatava hinta. Tämän perusteella hän johtaa viisi keinoa kannattavuuden parantamiseen (qk.karjalainen.fi.):

1. enemmän arvoa samoilla panoksilla
2. sama arvo pienemmillä panoksilla
3. enemmän arvoa pienemmillä panoksilla
4. paljon enemmän arvoa hieman kasvavilla panoksilla
5. vähemmän arvoa paljon vähemmällä panoksilla.

4.1 Hukkatyypit

Toyotan kehittämässä tuotantojärjestelmässä TPS:ssä valmistusprosessia tutkitaan asiakkaan näkökulmasta, eli mitä asiakas siitä haluaa saada. Prosessia tarkkaillaan ja erotetaan lisäarvoa tuottavat vaiheet lisäarvoa tuottamattomista. Toyotan malli hukan luokitteluun perustuu pitkälti heidän pitkäaikaisen tuotantopäällikön Taichi Ohnon havaintoihin. Hän tunnisti Toyotan tuotantoprosessista seitsemän hukan tyyppiä, joihin Liker kirjassaan lisäsi vielä kahdeksannen hukan muodon. Nämä ovat ylituotanto, odottelu, tarpeeton kuljettelu, ylikäsittely, virheellinen käsittely, tarpeettomat varastot, tarpeeton liikkuminen, viat ja työntekijöiden luovuuden käyttämättä jättäminen. Näistä hukan muodoista Ohno piti ylituotantoa olennaisimpana hukkana, koska sen takia muodostuu myös suurin osa muusta tuhlauksesta. Jälkeenpäin on todettu, että nämä hukan muodot ovat havaittavissa missä tahansa prosessissa. (Liker 2009, 28–29.)

4.2 Hukka CLT-tuotannossa

Kuten raportissa aiemmin mainitsin, on CLT-rakentamisen heikkoutena levyn korkea hinta. Koetalohankkeessa tehdyn kustannusvertailun mukaan CLT-talon rakennustekninen kustannus oli 17 800 euroa suurempi, kuin vastaavan puurankatalon. Prosenteissa tämä tarkoittaa noin 6-7 % kustannuseroa menetelmien välillä. (kiintopuu.fi.) Kustannusero aiheutuu osaltaan CLT-rakenteiden suunnittelusta ja puumateriaalin suuresta määrästä. Esimerkkitaloon käytetty puumäärä (netto) tutkimuksen mukaan oli 55 m³ ja tuotannon hukka mukaan lukien 60 m³. (kiintopuu.fi.)

Käytin tässä työssä hukan havainnollistamiseksi koetalosta saamiani elementtipiirustuksia, joiden avulla laskettiin elementtien ja elementteihin työstettyjen aukkojen pinta-alat. Pinta-alojen avulla pystyin laskemaan aukoista syntyneen hukan määrän. Laskelmat eivät kuitenkaan ole todellisuutta vastaavat, vaan niissä on kuviteltu kaikkien elementtien olevan saman paksuisia käyttötarkoituksesta riippumatta. Lamellin dimensioiksi valittiin 40*120 mm ja kerroksien määräksi kolme. Kuusisahatavaran hintana käytettiin 170 €/m³, liiman hintana 8 €/kg.

4.2.1 Kustannusten muodostuminen ja tuottavuus

Tuotetta valmistettaessa aiheutuu rahassa mitattavia kustannuksia. Yksittäiseen tuotteeseen kohdistuvia valmistuskustannuksia ovat puuraaka-aineesta, liimasta, tarvikkeista, työstä, energiasta ja koneiden ja laitteiden kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset. Puuraaka-aine muodostaa näistä suurimman osan. Tuotannon edetessä työvaiheittain, tuotteesta tulee kokoajan arvokkaampi. Lopussa tapahtuvat virheet, virheellisen tuotteen tai ylimääräisen materiaalin työstöt sisältävät aiempien työvaiheiden raaka-aine, työ ja energiakustannukset, mikä tarkoittaa, että virheiden ja ylimääräisten työstöjen arvo kasvaa sitä suuremmaksi, mitä pidemmälle valmistus jatkuu. Myös liimakustannus on oleellinen ja se muodostuu käytetyn liiman hinnasta ja käyttömäärästä. (Koponen 2005, 190.)

Puulevytuotteiden valmistuksesta aiheutuvia kustannuksia pyritään alentamaan tuottavuuden parantamisen lisäksi huomioimalla toiminnan tehokkuus, jota mitataan mm. läpimeno- ja toimitusajalla. Tuottavuus tarkoittaa tuotannon määrää suhteessa käytettäviin panoksiin. Siitä voidaan erottaa eri panostekijät, kuten työtunnit, raaka-aine panos ja pääoman tuottavuus. Tuottavuutta voidaan siis aiemmin kerrotusta päätellen kasvattaa lisäämällä tuotosta tai pienentämällä panosta. (Koponen 2005, 191.)

4.2.2 Hukan määrä

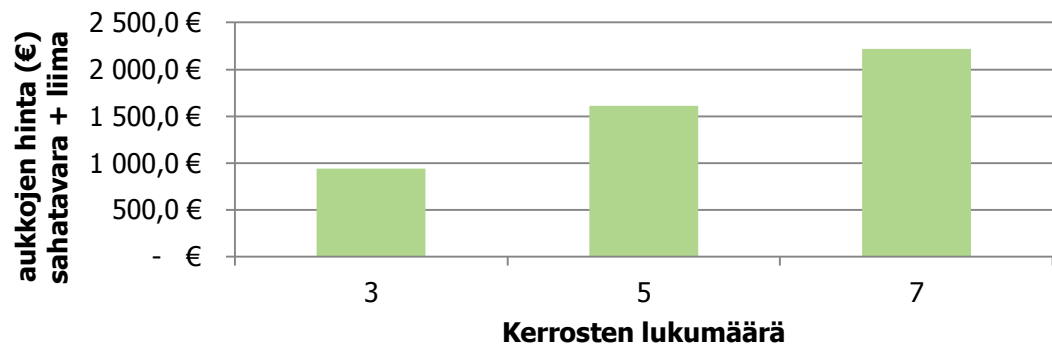
Koetalon elementtien kokonaispinta-ala on noin 297,3 m² ja niissä olevien aukkojen pinta-ala yhteensä noin 35,7 m². Tämä tarkoittaa sitä, että aukoista syntyvien palojen osuus on 12 % elementtien kokonaispinta-alasta (kuvio 4). Oletetaan, että elementit koostuvat kolmesta 40 mm paksusta kerroksesta ja lamellien leveys on 120 mm. Jakamalla aukkopalojen tilavuus yhden lamellin poikkeileikkausprofiiliin pinta-alalla, saamme aukkojen materiaalimäärän juoksumetreinä kaavan

$$\frac{A \cdot l}{(a \cdot b)'} \quad (1)$$

tapaan, missä A on aukkopalojen pinta-ala, l elementin paksuus, a lamellin leveys ja b lamellin paksuus.

Sen mukaan koetaloon työstettyjen aukkojen lamellimäärä on 892,5 jm, eli 4,284 m³. Pelkän materiaalihukan lisäksi on puutavaraa jouduttu käsittelemään useissa eri työvaiheissa prosessin aikana. Oletetaan, että CLT-tuotanto alkaa sormijatkamisesta, missä kolmasosa lamelleista jatketaan, eli

297,5 jm. Työstäminen 20 m/min (6 sykliä) kapasiteetin omaavalla sormijatkoskoneella kestää teoriassa noin 15 minuuttia. Sormijatkamisen jälkeen kaikki lamellit höylätään 50 m/min nopeudella, jolloin työvaihe kestää noin 17,85 minuuttia. Höylätyt lamellit katkaistaan määramittaan ja siirretään liimoitukseen. Liimaa levitetään noin 200g/m^2 ja aukkopalojen pinta-alan ollessa $35,70\text{ m}^2/\text{kerros}$ kahdessa kerroksessa, on liiman määrä aukkojen kohdalla sormijatkoksiin kuluva liimamäärä (taulukko 1) mukaan luettuna yhteensä 17,12 kg. Kuusisahatavaran dimensio ennen höyläystä on $44 \times 125\text{ mm}$, jolloin aukkoihin kulunut sahatavaramäärä on $4,91\text{ m}^3$ ja hinnan ollessa 170 €/m^3 tarkoittaisi tämä 834,70 euron suuruista puun materiaalien menetystä aukkojen muodossa. Tähän lisätään vielä liimakustannus, jolloin kokonaismateriaalikustannus aukkoista on 971,66 euroa. Materiaalien kulutus riippuu olennaisesti levyn kerrosten lukumäärästä ja rakenteesta (kuvio 5). Pystyrakenteissa valtaosa lamelleista on jatkamattomia ja vaakarakenteissa jatkettuja, minkä takia työstömäärät vaihtelevat sormijatkamisen osalta.

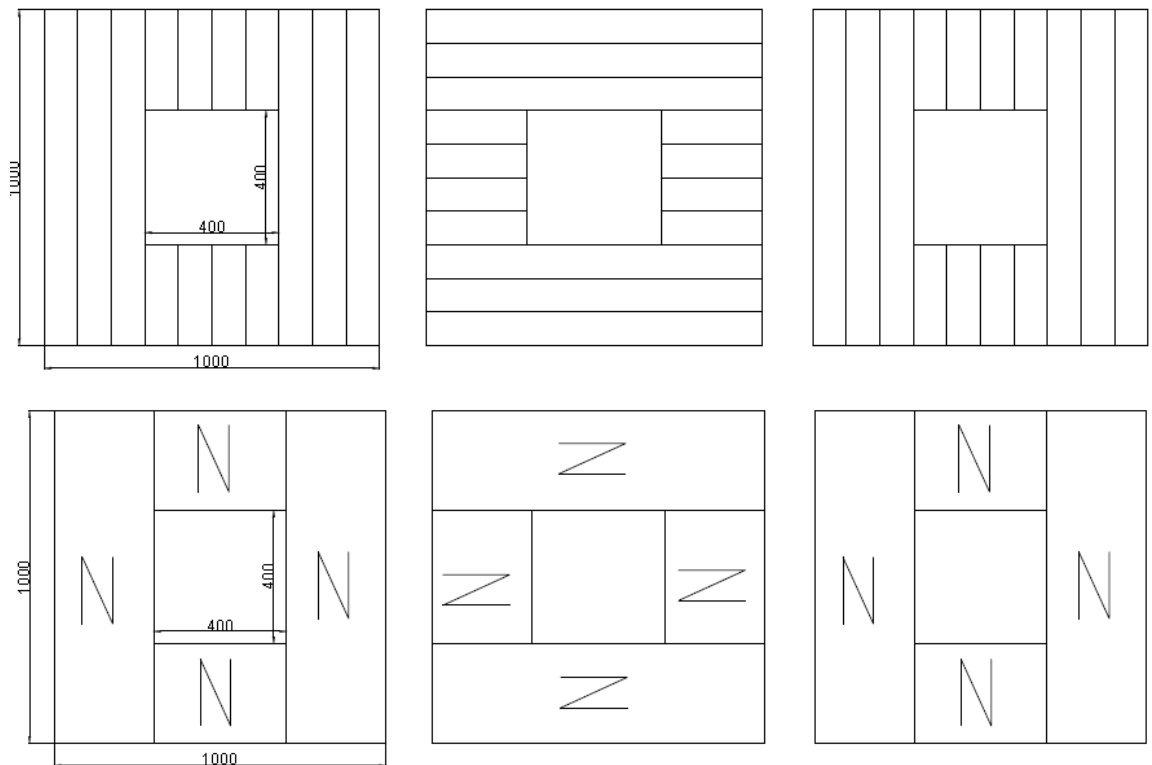


Kuvio 5. Kerrosmäärän vaikutus pystyrakenteessa aukkopalojen kustannuksiin (Tervo 2015)

Vuosittaisen CLT-tuotannon ollessa esimerkiksi $30\,000\text{ m}^3$ ja yhden talon elementtien materiaalin määrän $40,88\text{ m}^3$, olisi pelkästään aukkoista muodostuva materiaalien menetys 3603 m^3 vuodessa. Tästä voidaan päätellä, että materiaalihukkaan kannattaa kiinnittää huomiota. Se vaikuttaa tuotteen hinnoitteluun ja negatiivisesti kilpailuun muita rakennusmateriaaleja ja menetelmiä vastaan. Aukkopalojen valmistuksesta aiheutuu periaatteessa ainakin tarpeetonta kuljetteluä, ylikäsittelyä, tarpeettomia varastoja ja tarpeetonta liikkumista/työtä. Ylimääräistä materiaalia on suhteellisen paljon, joten voitaneen olettaa sen vaikuttavan myös koneiden ja laitteiden kunnossapidon ja energian käytön kustannuksiin.

5 VALMISTUSTESTI

Opinnäytetyössä testattiin CLT:n valmistusta tekemällä yksinkertaiset aukolliset pienoiselementit. Elementit tehtiin muodostamalla aukot jo ladontavaiheessa ja kokeiltiin onnistuuko niiden tekeminen siten, että ennen puristimeen syöttöä levyille tehdään syrjien suuntainen esipuristus, minkä jälkeen puristimessa ainoastaan lapepuristus. Testauksen tarkoituksena oli tutkia aukollisen elementin valmistuksen ongelmia ja niiden avulla arvioida menetelmän vaatimuksia. Testissä tehtiin kaksi samantyyppistä elementtiä kahdella eri menetelmällä, joista ensimmäinen koostui irrallisista lamelleista ja toinen syrjäliimatuista levyaihiosta (kuva 10).



Kuva 10. Testielementtien kerrokset irrallisista lamelleista (ylempi) ja syrjäliimatuista aihioista (alempi) (Tervo 2015)

5.1 Toteutus

Raaka-aineeksi testaukseen valittiin kuusilauta, jonka laatuvaatimuksena oli ainoastaan täysisärmäisyys ja materiaalin kohtalainen suoruus. Valmistus aloitettiin sahatavaran höyläyksestä, missä se tasohöylällä höylättiin molemmilta puolilta noin 20 mm:n paksuuteen ja siistittiin laudan syrjät oikohöylällä. Lamellien kokonaisleveyden täytyi olla suurempi, kuin ristikkäisten lamellien pituus, jotta syrjäpuristusvaiheessa ne saatiin tiiviisti yhteen.

Lamelliahiot sahattiin piirustusten mukaan oikeisiin mittoihin, missä myös huomioitiin elementtiin tuleva aukko. Lamelliahiot aseteltiin kasauksessa käytettävän vanerilevyn ympärille (kuva 11) pitkitäis- ja poikkitaistelamellit omille puolilleen. Kerrokset nostettiin yksi kerrallaan levyn päälle (kuva 12), missä niille levitettiin liima käsitelalla. Liimana testauksessa käytettiin PVAc-liimaa, koska elementille

ei ollut tarkoitus tehdä valmistuksen lisäksi muita testejä. Helpon käytettävyyden vuoksi se valittiin polyuretaanin sijalle. Valmiille levyaihiolle tehtiin kiskopuristimilla pieni esipuristus syrjän suunnassa kummaltakin sivulta yhtä aikaa. Syrjäpuristuksen aikana levyn kulmiin porattiin reiät, joihin asetettiin poratapit estämään lamellien liikkuminen ennen puristusta ja sen aikana. Tällä pyrittiin myös simuloimaan pientä lapepuristuksen aikaista syrjäpuristusta. Menetelmää on hyödynnetty myös normaalin CLT-raakalevyn valmistuksessa, käytettäessä pelkän lapepuristuksen omaavaa puristinta. Syrjäpuristuksen jälkeen levy siirrettiin prässiin kasaussytyneeseen, jossa puristus suoritettiin kylmäpuristuksena ja puristusaika oli 40 minuuttia, minkä jälkeen elementti aukkoineen oli valmis (kuva 13). Syrjäliimattujen aihoiden liimaus suoritettiin ilman esipuristusta ja kulmiin asetettavia tappeja, mutta muutoin se toteutettiin samoin, kuin ensimmäinen elementti.



Kuva 11. Asemoidut lamellit (Tervo 2015-03-30)



Kuva 12. Ensimmäinen kerros ladottuna (Tervo 2015-03-30).



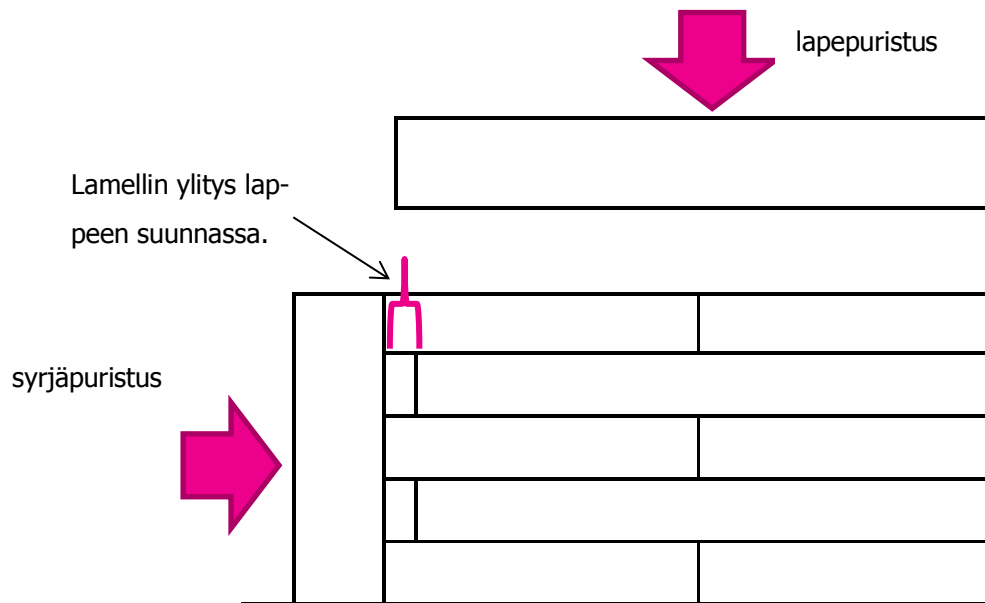
Kuva 13. Valmis, aukollinen elementti puristuksen jälkeen (Tervo 2015-03-30)

5.2 Tulokset ja arviointi

Kappaleessa 4 esitetyn havainnon ja laskelman perusteella voidaan päätellä, että ovi- ja ikkuna-aukkoista muodostuvat palat ovat suurehko kuluerä CLT:n valmistuksessa. Hukan pienentämiseksi on siis perusteltua pyrkiä muuttamaan valmistustekniikkaa niin, että aukotukset saadaan tehtyä ennen CNC-työstöjä. Jotta aukotus voidaan muodostaa näin, on liimoitukseen tulevan raaka-aineen oltava elementtikuvien mukaisesti määrämitassa ja lamellit asetoituina oikeille paikoilleen. Testauksen perusteella voidaan sanoa lamellien tarkan asettelun, dimensioiden tarkkuuden ja syrjäpuristuksen olevan tiiviin ja siistin rakenteen aikaansaamiseksi tärkeitä. Testissä käytetty esipuristus ja liikkumisen estävät puutapit eivät riittäneet, vaan levyssä oli havaittavissa lamellien välisiä rakoja.

Testauksen ja lähdeaineiston perusteella voidaan todeta, että "aukottaminen" on puhtaasti mekani-sointikysymys ja sen toteuttamiseen voidaan luoda monia erilaisia ratkaisuja. Menetelmiä voisivat olla ainakin irrallisista lamelleista, syrjäliimatuista aihioista ja näiden välimuotona lamelleista ja syrjäliimatuista aihioista valmistus. Irrallisista lamelleista valmistus vaikuttaa hieman monimutkaisemmalta ratkaisulta, jossa haastavia kohtia voivat olla puristuksen ja lamellien ladonnan kannalta aukkojen kohdalle tulevat lamellit, missä elementin leveyssuunnassa kohtisuoraan aukon reunaan nähden olevat lamellit ovat hyvin lyhyitä. Ongelmana on pienien kappaleiden käsittely tuotannossa mm. elementin kasausvaiheessa ja puristuksessa, kun ne täytyy saada oikeille paikoilleen ja kohdistettua riittävä purituspainetta koko elementin alalle. Ratkaisuna tähän, voitaisiin esimerkiksi oviaukoissa jättää alareuna kokonaan auki tai vaihtoehtoisesti jättää siihen reilusti työstövaraa, jolloin käsiteltävät kappaleet ovat pidempiä. Tasaisen purituspaineen luomiseksi voidaan aukkoihin asentaa tukipalat, jotka toimivat paineen tasaajina. Niiden täytyy kuitenkin olla optimaalisesti mitoitettuja (riippuen materiaalista), koska liian iso tukipala estää lamellien puristumisen tiiviisti ja liian pieni ei vaikuta paineen siirtämiseen aukon ympärille mitenkään. Myös lamellien asettelussa ja mitoituksessa on huomioita-

va, että puristuksen suunnassa niiden leveyden täytyy ylittää ristikkäisten lamellien pituus riittävän tiiveyden aikaansaamiseksi, kuten normaalin CLT-levyn valmistuksessa. (kuvio 6). Lamellien laadonta alipainenostimella ei todennäköisesti ole tarkkuudeltaan sellaisenaan riittävä, vaan lamellit täytyy kohdentaa levyn kasauksen jälkeen esimerkiksi syrjänsuuntaisella esipuristuksella, jotta tukipalat saadaan asennettua paikoilleen. Tämän jälkeen levy voidaan puristaa normaaliin tapaan. Menetelmä eroaisi perinteisestä CLT-linjasta mekanisointinsa vuoksi sormijatkoslinjasta eteenpäin.



Kuvio 6. Lamellien kokonaisleveys ylittää ristikkäisten lamellien pituuden (Tervo 2015)

Syrjäliimaustekniikan hyödyntäminen helpottaisi pienien kappaleiden käsittelyä, kun elementti kasattaisiin levystä pilkotuista aihioista testauksessa käytetyllä tavalla. Se vaatii paloittelusahan levyjen pilkkomiseksi piirustusten mukaisiksi aihioiksi, sekä tekniikan jolla ne asemoidaan elementin piirustusten mukaisesti. Kolmantena vaihtoehtona on lamellien liimaus suoraan aukollisiksi levyiksi asemoimallaan tekevällä kitkapuristimella, joita on saatavilla mm. Weinigiltä (kuva 18). Kun lamellit liimaetaan valmiiksi levyaihioksi, on niitä tällöin helpompi käsitellä ja pystytään nostamaan alipainenostimella kasauspöydälle aukoista huolimatta. Vaihtoehtoisesti pitkät lamellit voidaan ehkä jättää liimaamatta niiden valmiiksi helpon käsiteltävyyden vuoksi, jolloin ne ainoastaan katkotaan ja asemoidaan piirustusten mukaisesti. Tekniikka eroaa perinteisestä CLT-linjasta ennen puristinta tarvittavien kitkapuristimien, sekä mahdollisen pitkittäislamellien asemointilaitteen osalta. Menetelmän etuna on nähtävissä raaka-aineen helppo käsittely, sekä ladonnassa, että puristuksessa.

Aukotusten valmistaminen jo ennen mekaanista CNC-koneilla työstämistä tarkoittaa 3D- ja elementtisuunnitteluvaiheen mukaan tuloa levyn valmistusvaiheeseen. Tämä ei välttämättä lisää työmäärää, mutta elementtien kannalta tärkeiden tietojen ja työstöohjelmien on oltava valmiina jo niin sanotussa raakalevyvaiheessa. Aukollisiin levyihin työstetään vielä CNC-koneella tarvittavat liitokset ja

upotukset, minkä lisäksi aukkojen reunat on viimeisteltävä. Valmistusprosessin vaiheet siis pysyisivät ennallaan mekanisoinnista huolimatta.

5.3 Materiaalipanoksen muutos

CLT-levytuotannon mekanisointi pienentää puumateriaalipanosta (taulukko 1) huomattavasti tuoden esimerkkitalon kohdalla suurimmillaan 971,66 euron säästön, joka tarkoittaa 30 000:n m³ vuosituotannossa jopa 713 057,73 euroa. Liimakustannus taas pienenee aukkoihin ja niissä oleviin sormijatkoksiin kuluvaan liimamäärän verran.

Sormijatkamisen osalta materiaalipanoks riippuu täysin käytettävästä menetelmästä. Vaihtoehtona on jatkaa ainoastaan pidemmän sivun lamellit tai kaikki elementtiin tulevat lamellit. Sormijatkoksen liimamäärä saadaan selvitettyä laskemalla yhden liitoksen liimauspinta-ala, joka saadaan kertomalla sormijatkettavan profiilin poikkileikkauspinta-ala suhteellisella liimauspinta-alalla. Sormen profiilin ollessa taulukon 3 (15 mm pitkän sormen) mukainen, olisi yhden liitoksen liimauspinta-ala kaavan

$$\frac{2l}{t} * a * b, \quad (2)$$

jossa l on sormenpituus, t sormijako, a lamellin paksuus ja b lamellin leveys, mukaan 0,0434 m².

Koneellista levitystä käytettäessä on liimaa levitettävä liitoksen molempiin päihin ja käytettävän liimamäärän ollessa 150 g/m², on sen määrä yhdessä liitoksessa 13,02 g. Jos liitoksia tulisi 12 m pitkään lamelliin keskimäärin 5 kappaletta, tarkoittaisi se kaikki lamellit jatkettaessa 2 727 liitosta ja yhteensä 35,50 kg:n liimamäärää. Jatkettaessa vain pitkän sivun lamellit on liitosmäärä 1 818 ja liimamäärä 23,67 kg. Taulukon 1 mukaan aukottoman levyn lapeliimaukseen kuluu 118,92 kg ja aukolliseen 104,64 kg. Jatkettaessa aukollisen levyn kaikki lamellit, on liimamäärä yhteensä 140,14 kg ja aukottomassa levyssä, ainoastaan pitkät lamellit jatkettaessa 142,59 kg.

Taulukko 1. Materiaalipanoksen muutos koetalon elementeille annettujen dimensioiden kohdalla (Tervo 2015)

	aukollinen	aukoton	muutos %	muutos €
puu	35,97 m ³	40,88 m ³	12 %	-834,49
liima (lape)	104,64 kg	118,92 kg	12 %	-114,24
liima (s-jatko)	35,50 kg	23,67 kg	-33 %	94,64
			Yht.	-854,09

Tämän laskelman mukaan siis liimamäärä pienenee molemmilla menetelmillä puumateriaalipanoksen lisäksi. Toteutuakseen se vaatii liimoitusjärjestelmän, joka tunnistaa aukot ja jättää ne liimoittamatta. Liimakustannus riippuu liitosten määrästä, liimasta ja sen käyttömäärästä.

5.4 Työpanoksen muutos

Materiaalipanoksesta poiketen, työpanos nousee, jos päätetään sormijatkkaa kaikki lamellit (taulukko 2). Kaikki lamellit jatkettaessa pystytään paremmin varmistamaan niiden laatu, kun taas lyhyitä lamelleja käytettäessä sormijatkettava määrä pysyy pienenä. Tuotantoa suunniteltaessa onkin selvittävä, onko kannattavampaa pitää sormijatkoslaitteiston kapasiteetti pienenä vai jatkaa kaikki lamellit.

Taulukosta 2 on nähtävissä, että pienimmilläänkin sormijatkosten määrä ja työpanos kaksinkertaistuu CLT-pystyrakenteessa, jos kaikki lamellit sormijatketaan. Sormijatkamiseen käytettävä aika esimerkkitalon elementtien (3 krs./levy) kohdalla olisi 2,64 kertainen kuin vain pidemmän sivun lamellit jatkettaessa. Tämä tarkoittaa työstöajan lisääntyvän elementeille tässä työssä määriteltyjen dimensioiden ja koneille annettujen kapasiteettien kohdalla 3,4 tuntia. Tätä työpanoksen muutosta ei tietystikään tule jos käytetään lyhyemmällä sivulla sormijatkamattomia lamelleja, vaan se vähenee höylättävän pituuden tavoin aukoissa olevan materiaalmäärän verran, eli 12 %.

Taulukko 2. Sormijatkettava lamellimäärä ja työstöaika aukottomassa ja aukollisessa CLT-pystyrakenteen valmistuksessa eri kerrosmäärillä esimerkkitalon kohdalla (Tervo 2015)

	aukoton s-jatko pituus (m)	aukollinen s-jatko pituus (m)	muutos (%)	muutos (m)	työstöajan muutos (h)
3 krs.	2479	6545	+4066	-164 %	+ 3,4
5 krs.	4958	10908	+5950	-120 %	+ 5,0
7 krs.	7438	15272	+7834	-105 %	+ 6,5

Elementtien CNC-työstöissä valmiit aukotukset poistavat myös palojen irti työstämiseen, ja niiden käsittelyyn vaaditun työpanoksen. Aukkojen reunat vaativat vielä siistimisen ja elementtiin on tehtävä tarvittavat liitokset ja muut työstöt, mutta niiden suorittaminen on todennäköisesti paljon nopeampaa, kuin umpinaisen raakalevyn työstäminen alusta loppuun.

Edellä kuvailtu työpanoksen muutos on lähinnä pohdintaa mahdollisista valmistustekniikan vaikutuksista, koska todellisuudessa se voidaan arvioida vain tutkimalla olemassa olevaa linjastoa, sen mekanisointia ja kappaleen käsittelyä, minkä vuoksi asiaan ei perehdytä tämän tarkemmin.

5.5 Isojen aukkojen muodostaminen

Isojen aukkojen muodostaminen levyyn ladontavaiheessa saattaa aiheuttaa kestävyysongelmia siirrettäessä ja nostettaessa levyä. Suurten aukkojen kohdalla siis voi olla perusteltua työstövaiheessa katkaista levy aukon laitaan ja muodostaa aukon ylitys pitkittäissuuntaisella CLT-levyn kappaleella tai liimapuupalkilla (kuvio 7). Käytettävän liitosratkaisun mukaan, ei pintoja välttämättä voida jättää näkyviin, vaan elementti on syytä verhoilla.



Kuva 14. Suuri sormiliitos (kallfass-online.com 2012)

Kuusi on materiaalina suhteellisen pehmeää sen kuiva-tuoretiheyden ollessa noin 373 kg/m^3 (Kärkäinen 2007, 117). Tämän vuoksi sen kulutuskestävyys on heikohko ja suurelle kulutukselle joutuvat pinnat voi olla syytä suojata, jotta tuotteiden kestoikä olisi mahdollisimman pitkä. Esimerkiksi portaisiin voidaan käyttää erilaisia päällysteitä tai liukuesteitä. Kuusen hyviin ominaisuuksiin kuuluu sen suorasyisyys, jolloin puun sytyt eivät nouse ylös hionnan, höyläyksen, katkaisun eikä maalauksen yhteydessä. Lisäksi kuusi on tasaisen vaaleaa, eikä kellertävä sydänpuu erotu selvästi pintapuusta (puuproffa.fi). Kuusta on perinteisesti käytetty rakennusmateriaalina ja siitä valmistetaan mm. paneelia, laudelautaa, ovia, ikkunoita ja vaneria. Laudemateriaalina se on suosittua johtuen pienehköistä pihkataskuista ja siitä, ettei se valuta pihkaa oksien kautta kuten mänty. Kuusi ei ole kovin suosittu näkyviin jätettävä huonekalumateriaali, mikä voi johtua siinä olevista pienistä mustista oksista ja taipumuksesta vääntyillä, kieroutua ja halkeilla. Lisäksi terveetkin oksat ovat yleensä haljenneita. Tähän tekee poikkeuksen A-laatuinen kuusi, mikä parhaillaan voi olla akustisten soittimien valmistukseen soveltuvaa.

Mietittäessä CLT:stä aiheutuvan hukkamateriaalin hyödyntämistä huonekalujen valmistuksessa, on kuitenkin huomioitava, että teollisen tuotannon valmiudet kierrätyspuun käyttöön raaka-aineena ovat minimaaliset. Huonekalualan toimijat pitävät kuitenkin yksilöllisten design-huonekalujen valmistusta soveliaana kohteena laadukkaalle kierrätyspuulle. (metla.fi.) Vaikka CLT:n aukkopalat ovatkin ns. jalostuksen sivutuotteita, voitaneen ne mieltää myös laadukkaaksi kierrätyspuuksi.

CLT:n käyttömahdollisuuksia voitaisiin merkittävästi lisätä erilaisilla säänkesto-ominaisuuksia parantavilla käsittelyillä. Tällainen voisi olla esimerkiksi painekyllästämisen. Kuusta on vaikeaa painekyllästää, mutta männystä tehdyn CLT:n kyllästämisen niinkin voisi onnistua. Kyllästetty puu kestää ulkoikätyössä 2–5 kertaa kauemmin, kuin kyllästämätön puu. Se ei heikennä puun rakenteellista lujuutta, eikä muita puun luontaisia ominaisuuksia. Toisena vaihtoehtona voisi olla lämpökäsittelyn saha-tavaran käyttö CLT:n raaka-aineena. Lämpökäsittely parantaa puun lahonkesto-ominaisuuksia, pienentää kosteuselämistä, keventää, laskee tasapainokosteutta ja sen lämmöneristyskyky kasvaa. Toi-

saalta lämpökäsittely pienentää puun lujuutta ja muuttaa joiltain osin sen työstö-ominaisuuksia. Myös sen liimaus ominaisuudet muuttuvat ja esimerkiksi polyuretaaniliima tarvitsee toimiakseen kosteutta. Tällöin kosteus on hallittava tuotantotilojen sopivalla kostutuksella. (kiintopuu.fi; puuinfo.fi; ThermoWood-käsikirja 2002, 7, 45–48.)

CLT:n käyttökohteiden lisääminen mainitulla tavoilla luo sille paljon uusia mahdollisuuksia. On kuitenkin huomioitava, että aukkopalojen käytön sijaan kannattaa hyödyntää näitä erilaisia puun modifiointitapoja siihen varta vasten tehtyihin optimaalisesti käyttökohteen mukaan mitoitettuihin CLT-levyihin tai siihen käytettävään raaka-aineeseen.

5.7 Energia- ja raaka-ainekäyttö

Kierrätetty puu tulee jossain vaiheessa elinkaarensa päähän ja joutuu polttoon, sekä noin 40 % tehtaiden käyttämästä puuraaka-aineesta hyödynnetään jossakin tuotannon vaiheessa energiaksi (mmm.fi). Puu on itsessään kasvihuonekaasujen osalta neutraali polttoaine, mutta ongelmana on nähtävissä keskeneräinen kaasuteknologian kehitys ja poltosta aiheutuvat hiukkaspäästöt.

Puun poltto energiaksi edellyttää ympäristölupaa, mutta puhtaalla puulla ei ole muita polttorajoituksia. Kemikaaleilla käsitellyn puun poltto taas edellyttää päästömittauksia ja riittävän suurta polttotekniikaltaan edistynyttä kattilaa, minkä lisäksi jätteenpoltoasetus asettaa kierrätyspolttoaineen ja ongelmajätteen poltolle erityiset vaatimukset. (Puutuotteiden kierrätys 2011, 17.)

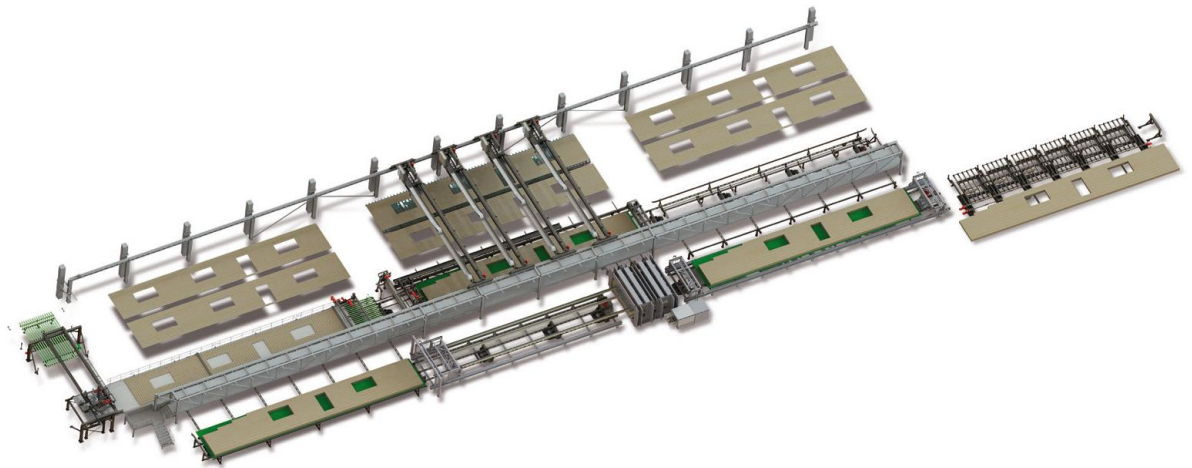
Aukkopalojen hyödyntäminen energiaksi on mahdollista, mutta suurin yhteiskunnallinen hyöty puun käytöstä saavutetaan kierrättämällä puu vasta käyttötarkoituksestaan poistumisen kautta energiakäyttöön. Kierrätyspuun käyttömahdollisuudet olemassa olevilla rakenteilla ja tekniikalla ovat yleensä suppeat, mutta CLT:n kohdalla vaikuttaisi olevan potentiaalia edellisessä kappaleessa kuvailtuun hyötykäyttöön. Teknisesti realistisimpia normaalin kierrätyspuun käyttösovelluksia ovat lastulevyjen raaka-aine ja purkupuun uusiokäyttö ei-kantavissa rakennusosissa ja sisustuksessa. Suomessa ei kuitenkaan ole vielä kierrätyspuuta käyttävää lastulevyteollisuutta, vaikka valmistustekniset valmiudet ovatkin aika hyvät. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi riittävien kierrätyspuumäärien keräämisen kalliista hinnasta. Lisäksi normaali kierrätyspuu voi sisältää metallia, jonka poistaminen vaatii puhdistuslaitoksen hankintaa. Energiakäyttö myös pitää kierrätyspuun hintaa korkealla, joten lastulevyn valmistajat jättävät siitä kilpailun suosiolla sivuun. He keskittyvät mieluummin ensivaiheen jalostuksen sivutuotteisiin, jotka ovat puhdasta puuta. (Puutuotteiden kierrätys 2011, 28–29.) Tämän vuoksi CLT-palat voisivatkin soveltua hyvin lastulevyn raaka-aineeksi, eivätkä ne aiheuta normaalin kierrätyspuun kaltaisia ongelmia raaka-aineen hankinnassa. CLT-aukkopalojen hakettamisella raaka-aineeksi ei kylläkään saavuteta lisäarvoa tuotteelle hakkeen alhaisen i-m³ hinnan vuoksi.

6 INNOVATIIVISET CLT-ELEMENTTIEN VALMISTUSLINJAT

Työn lähdeaineistoa etsiessä vastaan tuli laitevalmistajien CLT-linjoja, joissa oli ratkaistu aukkojen muodostaminen levyn ladontavaiheessa. Tämä vaikutti työhön siltä osin, että tekniikan toteuttamisen mahdollisuutta ei tarvinnut kyseenalaistaa. Käsittelen edellä kahta erityyppistä ratkaisua joiden toteuttajina ovat olleet Saksalaiset yritykset Springer ja Weinig.

6.1 Springer

Springer on vuonna 1952 perustettu perheyritys, joka tuottaa erilaisia tuotantoratkaisuja saha- ja puunjalostusteollisuuteen (springer.com). He ovat luoneet CLT-tuotantolinjan (kuva 15), missä elementit tehdään lapeliimaamalla irralliset aukolliseksi asemoidut lamellit (kuva16). Pitkittäiset lamellit ladotaan automaattisella latojalla järjestykseen ja nostetaan liimoituspöydälle alipainenostimella. Poikkittaiset kerrokset asemoidaan myös valmiiksi ja lasketaan linjalle eräänlaisella purkuhissillä liimoituksen tapahtuessa lamellikerrosten asennuksen välissä aukot tunnistavalla liimaportaalilla. Kasatulle elementille tehdään neljältä sivulta kohdistettu esipuristus lamellien tarkaksi asemoimiseksi, minkä jälkeen sen puristus tapahtuu suurtaajuuspuristimella vaiheittain, puristaen vain osa levystä kerrallaan. Levyn kohdistetaan lapepuristus, leveyssuuntainen syrjäpuristus, sekä pienehkö pituussuuntainen syrjäpuristus. Springerin menetelmällä raaka-aine saadaan tehokkaasti hyödynnettyä ja pienennettyä materiaalipanosta. (liite 2; kallesoe-as.dk.)



Kuva 15. Springerin CLT-linja (Springer.com)

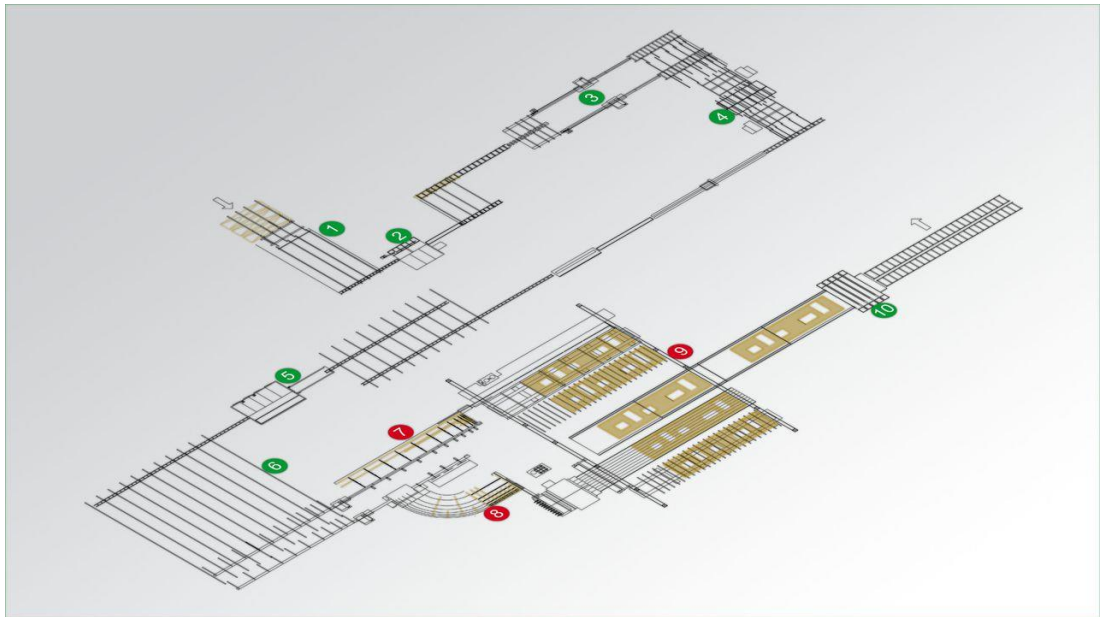


Kuva 16. Lamellit asemoituna liimoitukseen (springer.com)

6.2 Weinig

Weinig on vuonna 1905 perustettu maailman suurin puuntyöstökoneiden ja -järjestelmien valmistaja. Heidän CLT-tuotantolinja (kuva 17) perustuu ennen ladontaa tehtävään poikittaiskerrosten syrjäliimaukseen, missä automaattisella kitkapuristimella muodostetaan aukolliset levyaihiot (kuva 18). Pitkittäiskerrokset muodostetaan automaattisen pysäytinjärjestelmän avulla irrallisista lamelleista. Valmistuksen vaiheet ovat (Weinig.com)

1. esihöyläys
2. vikakatkonta
3. sormijatkaminen
4. höyläys
5. lamellien katkonta määrämittaan
6. pitkittäisten kerrosten muodostaminen
7. poikittaisten kerrosten muodostaminen (syrjäliimaus)
8. lapeliimaus ja
9. puristus.



Kuva 17. Weinigin CLT-linja (Weinig.com)



Kuva 18. Syrjäliimattu levyaihio aukkoineen (Weinig.com)

7 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisia mahdollisuuksia CLT-elementtien tuotannossa muodostuvan hukan pienentämiseen. Työssä ei tarkasteltu yksittäistä tuotantolinjaa vaan yleisimpiä CLT:n valmistustekniikoita lähdeaineiston avulla. Siinä käsiteltiin CLT-elementin aukkopalojen aiheuttamaa materiaalihukkaa, sivuttiin sen vaikutuksia tuotantoon ja arvioitiin eri tapoja hukkamateriaalin hyödyntämiselle. Työ sujui aiheen vaativuuteen ja vähäiseen lähdeaineistoon verrattuna hyvin. Hukan kartoittaminen oli sinänsä vaikeaa, koska se ei kohdistunut mihinkään yksittäiseen tuotantolinjaan. Lähdeaineiston ja testien perusteella on osoitettavissa, että materiaalihukkaa voidaan merkittävästi pienentää valmistusteknisin keinoin, mikä tämän työn johdosta myös osoittautui puhtaasti tuotannon mekanisointi kysymykseksi. Aukotus voidaan tehdä monin eri keinoin, mikä käy ilmi myös laitevalmistajilla jo olemassa olevista ratkaisuista. Vaikka todellinen materiaalimenetys vaihtelee jokaisen rakennetun talon kohdalla, uskon, että koetalosta saamiani piirustuksia hyödyntämällä pystyin myös havainnollistamaan kohtuullisen luotettavasti materiaalihukkaa millä tahansa tavallisella CLT-tuotantolinjalla.

CLT:stä on tehty jonkin verran tutkimuksia, mutta ne koskevat lähinnä rakentamisen aikaista käyttöä, sekä eri ominaisuuksien tutkimista. Tässä työssä on edellisistä poiketen tutustuttu tarkemmin tuotteen valmistusprosessiin oman koulutusalan eli puutuotantotekniikan näkökulmasta. Opinnäytetyöhön käytettävä aika oli suhteellisen lyhyt ja uskon, etten saanut tehtyä sitä haluamallani tarkkuudella. Uuden valmistusteknisen ratkaisun luominen vaatii todella suuren määrän testejä ja kehittämistä, jotta voidaan olla varmoja sen toimivuudesta. Työn edetessä myös ilmeni, että ratkaisuja tähän ongelmaan oli jo tehty, mikä osaltaan pienensi työn uutuusarvoa. Toisaalta sain aineistosta hyvää lähdemateriaalia, mitä pystyin käyttämään omia arvioitani tehdessä. Onnistuinkin mielestäni hankkimaan sitä laajasti ja hyödyntämään laitevalmistajien tietoa ja näkemyksiä aiheesta. Työ olisi vaatinut enemmän aikaa ja tutkimusta olisi pitänyt keskittää enemmän käytännön testaukseen paremman kokonaiskuvan luomiseksi. Uskon, että näistä tekijöistä huolimatta työ täyttää toimeksianton hyvin.

Valitsin työn aiheen sen uutuuden ja oman kiinnostukseni vuoksi. Aihe liittyi vahvasti koulutusalaani ja uskoin sen lisäävän ammatillisia valmiuksiani niin tuotantotekniikan, kuin nykyään hyvin olennaisen asioiden, kuten hukan pienentämisen, kestävän kehityksen ja ekologisen toiminnan suhteen. Kasvatin opinnäytetyön myötä myös omaa tietämystä CLT:stä, ja sen käytöstä. Tutuksi tuli myös hukka käsitteen laajuus ja sen merkitys erilaisissa tuotannollisissa prosesseissa. CLT-levyjen valmistukseen liittyvää tutkimusta on tehty Suomessa aika vähän, joten tämä julkaisu voisi omalta osaltaan olla selventämässä CLT:n valmistustekniikkaa. Hukan pienentämisen kannalta opinnäytetyö voi tarjota ratkaisuehdotuksia, mutta enemmänkin se tuo esiin valmistustekniikasta aiheutuvat ongelmat ja niiden kustannukset CLT-tuotannossa. Lisäksi työssä on listattu erilaisia vaihtoehtoja aukkopalojen hyötykäyttöön.

Omasta mielestäni CLT on varteenotettava uusi rakennusmateriaali, joka tuo monia mahdollisuuksia ja etuja muihin rakentamismenetelmiin verrattuna. Nopeat pystytysajat, materiaalin muotoiltavuus,

uuden tuotantoteknologian tuominen ja kehittyneen suunnittelun käyttäminen ovat merkittäviä uudistuksia rakentamisen saralla. Ongelmia materiaalin suhteen voivat olla sen rakenteesta johtuva käyttäytyminen. Kosteuden vaihtelu, kuten kuivat talvet, jotka aiheuttavat puun kutistumista ja sen vuoksi halkeilua ja rakenteiden paukahtelua. CLT:tä käytettäessä paljaana pintana onkin sen suhteen hyväksyttävä mahdolliset näkyvät halkeamat seinäpinnoissa, mikä osaltaan voi myös rajoittaa asiakaskunnan laajuutta. Yhtenä tutkimuksen aiheena voisikin olla miten vähentää CLT-pintojen halkeilua. Lisäksi tätä opinnäytetyötä täydentämään voitaisiin aihetta käsitellä laajemmin ja tutkia valmistustekniikoiden vaikutusta esimerkiksi läpimenoaikaan ja työkustannuksiin.

CLT:n osalta vaaditaan koko Suomen puunjalostuksen muuttamista ja kehittämistä, jotta esimerkiksi sahoilta olisi saatavilla sopivanlaatuista, pituista ja oikein kuivattua sahatavaraa. Näiden lisäksi 3D-suunnittelun ja cad/cam-tekniikan osaamisen lisääminen on hyvin olennaista myös muilla puunjalostuksen toimialoilla. Tämä vaatii mielestäni puualan koulutuksen muokkaamista ja lisäämistä erityisesti korkeakoulujen puualan koulutusohjelmien suhteen. CLT on perinteiseen rakentamiseen verrattuna lähempänä puutuotantoteollisuutta ja sen valmistus vaati puutuotantotekniikan hallintaa, kun tähän mennessä taloteollisuus on ollut pitkälti rakennusalan ammattilaisten käsissä.

LÄHTEET

BRANDNER, Reinhard. 2013. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology. [viitattu 2015-4-1] Saatavissa: <http://www.iom3.org/wood-technology-society/cross-laminated-timber>

BRÄNNARE, Jani 2012. CLT-levyjen soveltaminen suomalaiseen pientalorakentamiseen. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2015-4-1]. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/50788/Brannare_Jani.pdf?sequence=1

clt.info.fi a [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-23] Saatavissa: www.clt.info.fi Polku: clt.info.fi. Tuote. Tekniset tiedot. Statiikka ja lujuuslaskenta.

clt.info b [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-7] Saatavissa: <http://www.clt.info.fi/produkt/haufige-fragen/>. Polku: Tuote. Usein kysytyt kysymykset.

FPIInnovations 2011. CLT Handbook. Cross-Laminated Timber. Québec

HALMI, Kimmo 2014-1-30. CLT-levy [digikuva] maaseuduntulevaisuus.fi [verkkajulkaisu] Sijainti: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/mets%C3%A4/kainuulaisrytt%C3%A4j%C3%A4-avaa-clt-tehtaan-kuuhmoon-1.55530>

kallesoe-as.dk [verkkoaineisto].[viitattu 2015-4-15] Saatavissa: <http://www.kallesoe-as.dk> Polku: Products. Wood industry. Laminated wood industry. CLT. Wall Element Press.

kallfass-online.com. 2012-8-28. General finger joint [digikuva]. Sijainti: <http://www.kallfass-online.com> polku: kallfass-online.com. Startseite. News .General finger jointing for cross-laminated timber.

kiintopuu.fi. CLT:n tuotannollisia investointeja pohjustava esitys [verkkoaineisto].[viitattu 2015-1-28] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-investointi-info-20.5.14.pdf>

kiintopuu.fi. CLT-runkoelementtien valmistusprosessi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-1-28] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-runkoelementti-info-20.5.2014.pdf>

kiintopuu.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi>

kiintopuu.fi. CLT-raakalevyn valmistusprosessi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raakalevy-info-4.4.14-pak.pdf>

kiintopuu.fi. CLT-runkoisen ja ranka-runkoisen pientalon kustannusvertailun raportti [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raportti-140923.pdf>

kiintopuu.fi. CLT-rakentamisen ominaispiirteitä käsittelevä esitys [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-ominaisuudet-4-4-14.pdf>

kiintopuu.fi. Tietomallinnuksen merkitys rakennusten suunnittelussa ja CLT-tuotannossa [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/tietomallinnuksen-merkitys-rakennusten-suunnittelussa-ja-clt-tuotannossa.pdf>

kiintopuu.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: kiintopuu.fi Polku: kiintopuu.fi. Hankeinfo.

kiintopuu.fi. 2015-2-4. Yhdistetty Clt-raakalevy ja runkoelementtilinja [digikuva]. CLT-runkoelementin valmistusprosessi. Sijainti: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-runkoelementti-info-20.5.14.pdf>

kiintopuu.fi. CLT-runkoisen ja rankarunkoisen pientalon kustannusvertailu [verkkoaineisto].2014[viitattu 2015-1-28]. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/clt-raportti-140923.pdf>

kiintopuu.fi. CLT-tuotteita suomalaisesta puusta. [verkkoaineisto].2015[viitattu 2015-4-16]. Saatavissa: <http://www.kiintopuu.fi/media/kiintopuu/kemi-26-3-2015-crosslam.pdf>

KOPONEN, Hannu. 2005. Puutuoteteollisuus 4: Puulevytuotanto. 3-1. painos. Helsinki: Editra Prima Oy

KRYSSI, Elmeri 2013. Puukerrostalo. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [viitattu 2015-3-26]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21966/Kryssi.pdf?sequence=1>

KÄRKKÄINEN, Matti. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Hämeenlinna: Karisto Oy

lappia.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4]Saatavissa: lappia.fi Polku: lappia.fi. Aikuiskoulutus- j työelämäpalvelut. Työelämän kehittämispalvelut. Hankkeet. Teknologia ja teollisuus. CLT

Ledinek.com. 2005. X-press puristin [digikuva] Saatavissa: http://www.ledinek.com/en/product/06/xpress_5.html

LIKER, Jeffrey. 2009. Toyotan tapaan. (Suom. Marko Niemi). Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Lämpöpuu yhdistys Ry. 2013. ThermoWood-käsikirja. Helsinki: Wood Focus Oy

metla.fi. Puutuotteiden kierrätys [verkkoaineisto]. 2011 [viitattu 2015-3-20]. Saatavissa:
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp191.pdf>

mmm.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-4] Saatavissa: <http://www.mmm.fi>. Polku: Metsät. Ilmasto ja energia. Puun energiakäyttö.

puuinfo.fi. Hyvä tietää kestopuusta [verkkoaineisto].[viitattu 2015-4-15] Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Hyv%C3%A4%20tiet%C3%A4%C3%A4%20kestopuusta%20WEB.pdf>

puuinfo.fi. Runkoelementti. [digikuva]. Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/CLT%20image%20brochure%20FI.pdf>

puuproffa.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-7] Saatavissa: <http://www.puuproffa.fi>. Polku: puuproffa.fi. puulajit. kuusi.

Puurakenteiden suunnitteluohje. CLT-päivityksiä. RIL. 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

qk.karjalainen.fi [verkkoaineisto].[viitattu 2015-1-30] Saatavissa: <http://www.qk.karjalainen.fi>. Polku: qk.karjalainen.fi. Artikkelit. Lean ja hukka – Muda, Mura ja Muri.

Ristiinlaminoitu massiivipuulevy (CLT). RT 14-11016. Helsinki: Rakennustieto Oy [viitattu 2015-2-13] Saatavissa:
http://www.ylivieska.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/ylivieska/embeds/ylivieskawwwstructure/17714_Runkoryl_2010.pdf

SIIKANEN, Unto. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy

Stora Enso, Rakentamisen ratkaisut 2012 [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-17] Saatavissa:
<http://buildingandliving.storaenso.com/products-and-services/building-solutions>

VÄISÄNEN, Paula 2002. Materiaalitehokkuus: Pienestä suurta. Turku: Newprint Oy

Weinig.com [verkkoaineisto].[viitattu 2015-2-29] Saatavissa: <http://www.weinig.com> Polku: weinig.com. System solutions. Cross laminated timber.

woodtec.ch. vakuumpuristin [digikuva] Saatavissa:
<http://www.woodtec.ch/media/archive3/Products/Vacuum%20Press/Documentation%20Vacuum%20Press%20en.pdf>

Perustietoa CLT-levyistä

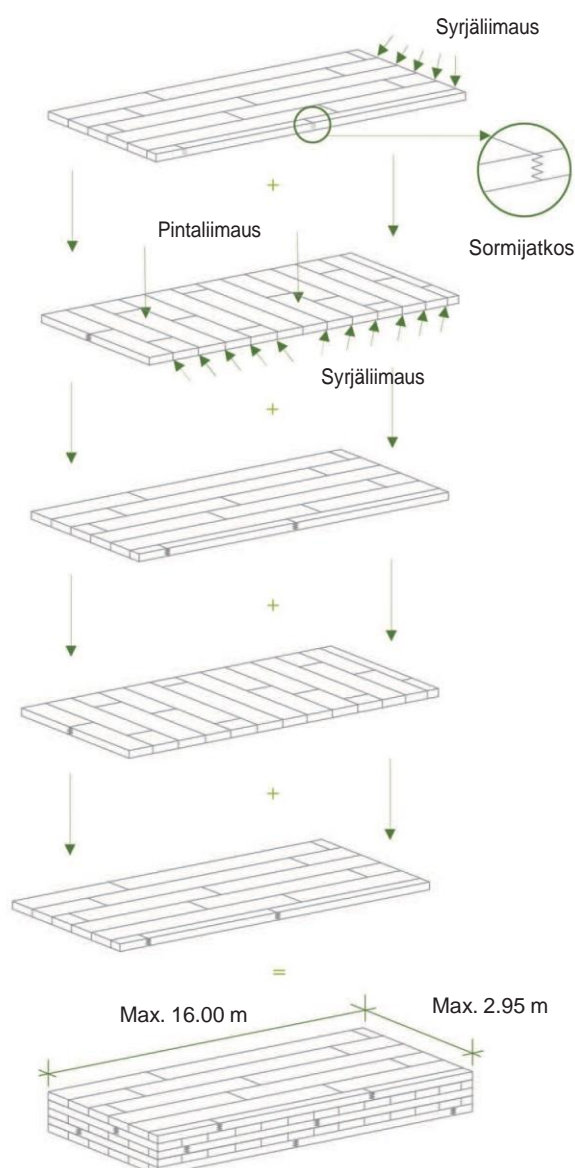
STORA ENSO BUILDING AND LIVING

2/2012

CLT-levyn rakenne

CLT-levyt koostuvat yksittäisistä puulevyistä, jotka on liimattu ristiin yhteen. Levyn maksimileveys on 2,95 m ja maksimipituus 16,00 m.

Alla esimerkki 5-kerroksisen CLT-levyn rakenteesta.



CLT - Yleistä

Käyttö	Pääasiassa asuin- ja muiden rakennusten seinät, välipohjat ja yläpohjat
Maksimileveys	2.95 m
Maksimipituus	16.00 m
Maksimipaksuus	40 cm
Kerrosrakenne	Ristiinliimatut puulevyt
Puulaji	Kuusi (mänty ja lehtikuusi tilauksesta)
Lujuusluokka	C24 (muut luokat tilauksesta)
Kosteuspitoisuus	12% ± 2%
Liima	Reuna-, sormijatkos- ja pintaliimauksiin käytetään formaldehydivapaita liimoja
Pintalaadut	Näkyvä ja ei-näkyvä laatu; pinta on aina hiottu
Paino	Rakenneanalyysit: 5,0 kN/m³ (DIN 1055-1:2002), kuljetuspainon määrittely noin 470 kg/m³

CLT – teknisiä tietoja

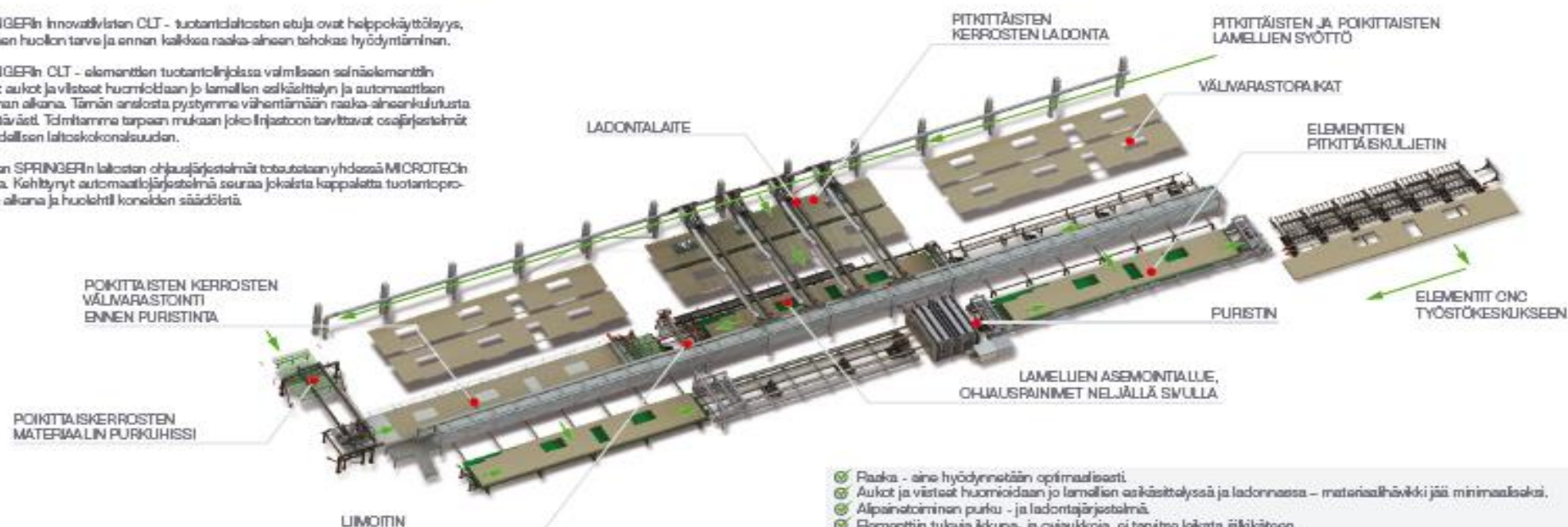
Mittavaihtelu kosteuspitoisuuden mukaan	Laajenema ja kutistuma DIN 1052:2008 -standardin mukaisesti kyllästymispisteen alapuolella: <ul style="list-style-type: none"> Pituus-/leveyssuunnassa: 0,02 % puun kosteuspitoisuuden muuttuessa 1 % Paksuudessa: 0,24 % puun kosteuspitoisuuden muuttuessa 1 %
Paloluokitus	Euroopan komission päätöksen 2003/43/EY mukaisesti: <ul style="list-style-type: none"> Puulevyt pois lukien lattiat -> Euroclass D-s2, d0 Lattiat -> Euroclass Dfl-s1
Vesihöyryn diffuusioreistanssi μ	EN 12524 standardin mukaan -> 20–50
Lämmönläpäisykerroin λ	0,11 W/m²K (SP Sweden raportti 10.7.2009)
Ominaislämpökapasiteetti c_o	EN 12524 -standardin mukaan -> 1600 J/(kgK)
Ilmatiiviys	CLT valmistetaan yksittäisistä levyistä, minkä ansiosta ilmatiiviys on erinomainen. 3-kerroksisen CLT-levyn ja sen puskusaumojen ilmatiiviys on testattu EN 12114 -standardin mukaisesti. Kokeessa todettiin ilmavuodon olevan niin pieni, ettei sitä pystytty mittaamaan.
Käyttöluokat/käyttö	Soveltuu EN 1995-1-1 -standardin mukaisiin käyttöluokkiin 1 ja 2

ELEMENTTEJÄ LEVYJEN SIAAN INNOVATIIVISET CLT- TUOTANTOLINJAT

SPRINGERin innovatiivisten CLT - tuotantolinjojen etuja ovat helppokäyttöisyys, vähäinen huollon tarve ja ennen kaikkea raaka-aineen tehokas hyödyntäminen.

SPRINGERin CLT - elementtien tuotantolinjoissa valmiiseen seinäelementtiin tulevat aukot ja viisteet huomioidaan jo lamellien esikäsittelyssä ja automaattisen ladonnan aikana. Tämän ansiosta pystymme vähentämään raaka-aineenkulutusta merkittävästi. Tömittämme tarpeen mukaan joko linjastoon tarvittavat osajärjestelmät tai täydellisen laitoskokonaisuuden.

Kaikkien SPRINGERin laitojen ohjauksjärjestelmät toteutetaan yhdessä MICROTecin kanssa. Kehittyneet automaatiojärjestelmät seuraavat jokaista kappaletta tuotantoprosessin aikana ja huolehtii koneiden säädöistä.



- ✓ Raaka - aine hyödynnetään optimaalisesti.
- ✓ Aukot ja viisteet huomioidaan jo lamellien esikäsittelyssä ja ladonnanessa - materiaalihävikki jää minimaaliseksi.
- ✓ Alipainatoiminnan purku - ja ladontajärjestelmä.
- ✓ Elementtiin tulevia ikkuna- ja oviaukkoja, ei tarvitse leikata jälkikäteen.
- ✓ Ratkaisut ovat innovatiivisia ja kustannustehokkaita.
- ✓ Springer tarjoaa kokonaisvaltaista palvelua.



Tarjoamme:

- Seiniä ja kattojen kuljetinjärjestelmät
- Lamellien katkenta ja esikäsittely
- Lamellien silitys CLT - elementtien ladontaan
- Lamellien nerokas katkenta ja ladonta, jossa elementin aukot muodostetaan ladontalaitteella
- Lamellien silitys ilmoitukseen ja CLT - puristukseen
- Puristuksen, hionnan ja työstökeskuksen asiakaskohtaiset toteutukset
- CLT - elementtien pakkauslaitteet
- Kokonaisratkaisut, joihin hyödynnetään laadukkaita suuntaajapurseja